

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра галузевого машинобудування

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
на тему: «Забезпечення працездатності паливних насосів високого тиску
дизельного двигуна діагностуванням плунжерних пар»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 6
Куча Іван Іванович
Керівник: Яхін С. В.
Рецензент: Келемеш А. О.

Полтава – 2021 року

ВСТУП

Витрати на підтримку працездатності автотракторних і транспортних засобів перевищують вартість нових, досягають 20 ... 25% собівартості експлуатації, до 40% з яких припадає на технічне обслуговування (ТО) і ремонт (ПР). У зв'язку з цим завдання повного і своєчасного задоволення потреб агропромислового комплексу країни в сільськогосподарській техніці шляхом підвищення ефективності експлуатації рухомого складу є однією з найважливіших на сьогоднішній день [1,2].

Вирішення цього завдання забезпечується не тільки випуском сільськогосподарської техніки з високою надійністю і технологічністю промисловим комплексом країни, але і службами сервісу, що ведуть роботу з удосконалення методів технічної експлуатації і зниження трудомісткості робіт по їх ТО.

Для вирішення поставленого завдання істотне значення має застосування більш економічних двигунів на автотракторних засобах – дизельних. При цьому, згідно з прогнозом вітчизняних і зарубіжних експертів, поршневий двигун внутрішнього згорання (ДВЗ) залишиться найбільш затребуваним в якості енергетичної установки, що експлуатується в транспортно-технологічних засобах [3].

Вимоги, що пред'являються до паливної апаратури (ПА) автотракторного дизеля, відомі: це створення однакових умов роботи циліндрів дизеля за кутом подачі палива, циклової подачі і характеристики вприскування [28]. Порушення рівномірності цих показників по циліндрах двигуна призводить до підвищеного зносу деталей і вузлів силового агрегату, що стає причиною зростання його експлуатаційних витрат.

Для забезпечення підтримки ПА дизеля в процесі експлуатації в справному стані необхідно своєчасно (оперативно) оцінювати її технічний стан. Показником, що відображає роботу ПА дизеля, є переміщення голки форсунки і тиск в лінії високого тиску (ЛВТ) паливної апаратури. Дані

параметри визначають величину, тривалість і характер упорскування палива в циліндри двигуна і істотно змінюються в процесі експлуатації двигуна.

Однак на даний момент об'єктивно оцінити ступінь і характер переміщення голки форсунки автотракторного дизеля не дозволяє відсутність діагностичних комплексів, що дозволяють оперативно оцінювати технічний стан елементів в процесі експлуатації автотракторних засобів [4].

Вирішення проблеми забезпечується розробкою діагностичного пристрою ПА автотракторного дизеля, що враховує такі параметри як момент відкриття і закриття форсунки, а також швидкість, прискорення і величину підйому голки форсунки, і алгоритму її діагностування.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз відмов і несправностей дизелів автотракторної техніки

В останні десятиліття конструкції автотракторної техніки безперервно вдосконалювалися, підвищувалися вимоги до їх довговічності і надійності, що призвело до більш жорстких вимог, що пред'являються до неї при розробці, експлуатації та обслуговуванні.

Надійність автотракторної техніки – її здатність виконувати конструктивно-закладені функції без додаткових трудових і матеріальних витрат для підтримки працездатного стану протягом тривалого часу. В силу того, що якість автотракторної техніки характеризується її надійністю і працездатністю, підвищення рівня надійності – актуальне завдання на сучасному етапі розвитку технічної експлуатації сільськогосподарської техніки.

З іншого боку, підвищення надійності автотракторної техніки – перспективний шлях зниження витрат у виробництві, тому що експлуатація більш надійною техніки вимагає менших трудових і матеріальних витрат [5].

Проектована при конструюванні і виготовленні надійність сільськогосподарської техніки реалізується при експлуатації. Фактичний рівень надійності, закладений при виробництві техніки сільськогосподарського призначення та операції з підтримки технічного стану, визначають витрати на їх утримання. Зниження витрат є однією з головних задач інженерних служб будь-якого підприємства.

Двигун – базовий агрегат автотракторної техніки, від стану якого залежить її працездатність в цілому. ПА дизельного двигуна зумовлює ефективність його роботи і є однією з найбільш дорогих і складних елементів даного агрегату. Від її роботи залежать економічність, потужність і надійність дизеля при експлуатації. На незадовільну роботу ПА дизеля

доводиться від 20% до 50% відмов дизеля в залежності від марки автотракторного кошти [6].

Надійність дизеля можна охарактеризувати як властивість виконувати задані конструктивними особливостями функції, одночасно зберігаючи експлуатаційні показники в межах значень, що відповідають умовам роботи і заданим режимам.

Від якості роботи ПА дизеля залежать такі його показники як потужність, безвідмовність і паливна економічність. Як показують дослідження [7], по причині неякісної її роботи відбувається істотна частина відмов автотракторних ДВЗ. Внаслідок невірних регулювань ПА або їх порушення в процесі експлуатації дизель втрачає до 20% від номінальної потужності, продуктивність знижується до 70%, а перевитрата палива може скласти до 25%.

При експлуатації автотракторних дизелів параметри їх паливної апаратури погіршуються, що можна пояснити зміною технічного стану спряжень.

В процесі обслуговування агрегати ПА відновлюють до працездатного стану, одночасно регулюючи і замінюючи вузли, що вийшли з ладу, на нові. Для підтримки показників роботи ПА в допустимих межах протягом терміну служби необхідно своєчасно усувати виникаючі в процесі експлуатації несправності в рамках міжремонтного технічного обслуговування. Своєчасне технічне обслуговування ПА знижує інтенсивність зношування спряжених деталей і забезпечує необхідну стабільність значень параметрів її стану [8].

Такі ознаки, як зниження потужності, підвищена витрата палива, димність відпрацьованих газів, нестала робота і важкий пуск дизеля можуть свідчити про незадовільну роботу паливоподаючої апаратури.

ПА автотракторного дизеля є складним виробом, оцінка надійності якого можлива за характерними показниками, що визначають перевищення встановлених меж вихідних параметрів (основних технічних характеристик) виробів [9]. Межі варіювання вихідних параметрів дизельної ПА задаються з

урахуванням продуктивності автотракторних засобів в експлуатації, умовами заданої надійності і підвищенням потужності двигуна.

У відновленій ПА стабілізація вихідних параметрів при експлуатації залежить від безлічі технологічних факторів, які можна розділити на групи [9]:

- початкові зазори основних сполучень;
- биття осей сполучень при монтажі;
- ще одне зусилля пружин регулятора;
- твердість поверхонь основних деталей.

В якості основних факторів приймаються ті, які максимально впливають на надійність і мають широкий діапазон показників в умовах ремонту.

Зміни технічного стану дизелів в процесі експлуатації дуже впливають на показники паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів [10], причому перше складає половину витрачених ресурсів в сільському господарстві.

Для досягнення необхідних екологічних та економічних показників роботи автотракторного дизеля, його характеристики і параметри подачі палива доцільно коригувати відповідно до експлуатації та режимом роботи двигуна. Таке рішення дозволить змінювати необхідні параметри і характеристики, тим самим забезпечувати необхідний характер протікання таких процесів подачі палива як розпилювання, сумішоутворення і згоряння на кожному режимі експлуатації.

Визначення необхідних характеристик подачі палива – досить трудомісткий процес. Для цього необхідно врахувати ряд швидкоплинних параметрів, таких як тривалість уприскування палива, його тиск, вимоги до яких вельми суперечливі. Тому вибір деяких параметрів подачі палива зводиться до компромісу.

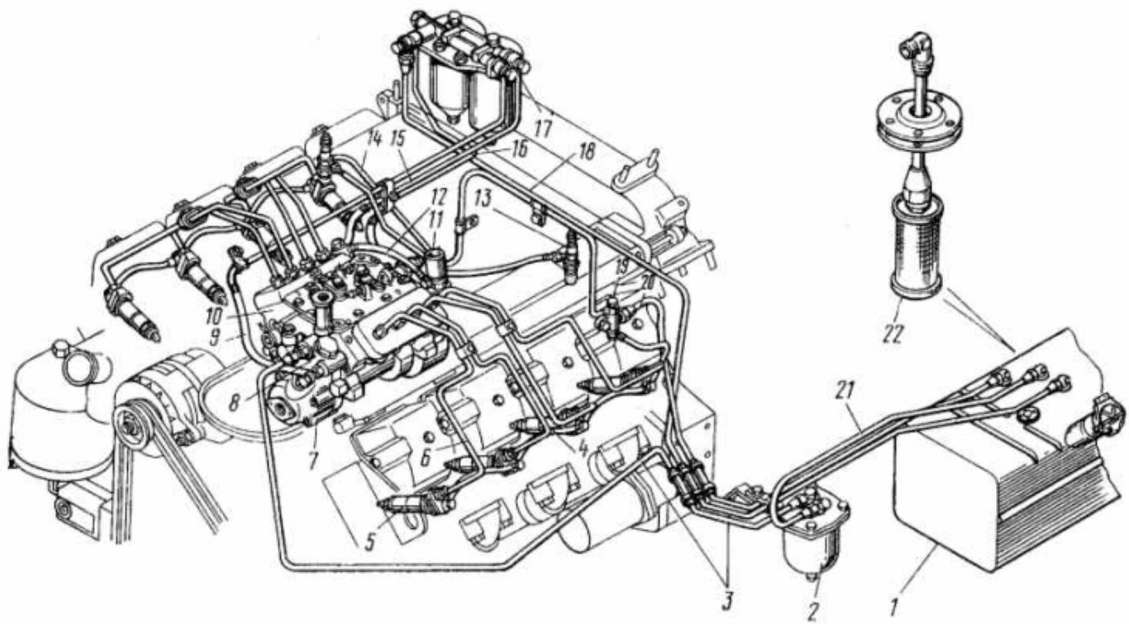
1.2 Аналіз паливоподаючих систем автотракторних дизелів

З початку виробництва дизельних двигунів широкого поширення набула система живлення з розділеним уприскуванням. Так як подібною системою впорскування та в даний час оснащується істотна частина дизельних автотракторних засобів великої вантажопідйомності, її безперервно вдосконалюють [11].

Найбільш поширеною ПА з розділеним уприскуванням представлена на рис. 1.1, що складається з паливного насоса високого тиску, форсунок, фільтрів грубого і тонкого очищення, паливopідкачуючого насоса низького тиску, паливопроводів низького і високого тисків, паливних баків, електромагнітного клапана і факельних свічок електрофакельного пускового пристрою.

В даний час з розвитком технологій значно ускладнилася конструкція сучасних дизелів. Жорсткість екологічних норм викидів автотракторних засобів дало поштовх до появи великої кількості різноманітних моделей ПА з оригінальними вузлами і обмеженнями по екологічності викидів і витрати палива. Поряд з розділеною системою впорскування в високооборотних дизелях впроваджені або впроваджуються два типи паливної системи (ПС) з електронним управлінням. Це насос-форсунка (НФ) [9,11] (рис. 1.2) і акумуляторна ПС (АПС) [9, 12].

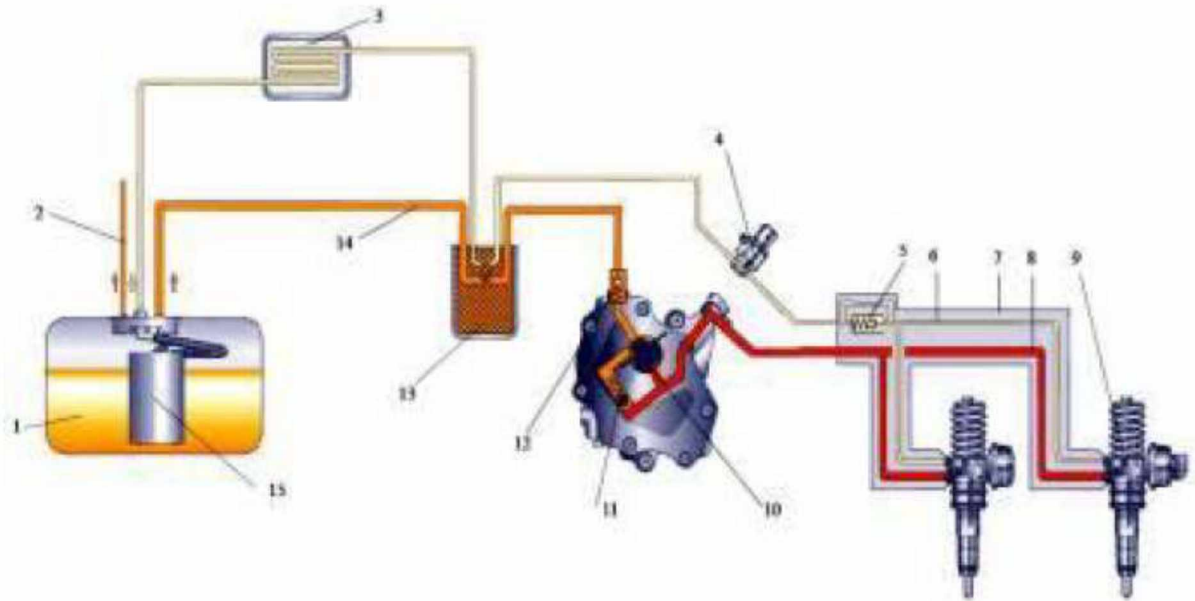
Як і ПНВТ з форсунками, система уприскування з насос-форсунками виконує наступні функції: створює високий тиск для вприскування палива, впорскує певну кількість палива в певний момент. На кожен циліндр двигуна доводиться по насос-форсунці. Тому відсутні паливопроводи високого тиску, які є на двигуні з ПНВТ. Конструкція насос-форсунки забезпечує оптимальне і ефективне утворення паливно-повітряної суміші. Для цього в процесі впорскування палива передбачені наступні фази:



1 – бак паливний; 2 – фільтр грубої очистки палива; 3 – паливна трубка до насоса низького тиску; 4 – трубка паливна дренажна форсунок лівих головок; 5 – форсунка; 6 – трубка паливна високого тиску; 7 – насос паливопідкачувальний низького тиску; 8 – насос паливопідкачувальний ручний; 9 – паливна трубка насоса низького тиску; 10 – насос паливний високого тиску; 11 – клапан електромагнітний; 12 – трубка паливна до електромагнітного клапану; 13 – свічка факельна; 14 – трубка паливна дренажна форсунок правих головок; 15 – трубка паливна, що підводить ПНВТ; 16 – трубка паливна що відводить ПНВТ; 17 – фільтр тонкого очищення палива; 18 – трубка паливна фільтра тонкого очищення палива; 19 – трійник кріплення паливних трубок; 20 – трубка паливна зливна; 21 – паливопровід до фільтра грубого очищення; 22 – трубка приймальна з фільтром

Рисунок 1.1 – Паливна апаратура з розділеним впорскуванням

- попереднє впорскування;
- основне впорскування;
- додаткове впорскування.



1 – паливний бак; 2 – паливопровід до додаткового обігрівачу; 3 – охолоджувач палива; 4 – датчик температури палива; 5 – обмежувальний клапан в зливному трубопроводі; 6 – зливний трубопровід; 7 – розподільник палива; 8 – трубопровід високого тиску; 9 – насос-форсунка; 10 – паливопідкачувальний насос; 11 – редукційний клапан в трубопроводі подачі палива; 12 – зворотний клапан; 13 – паливний фільтр; 14 – трубопровід низького тиску; 15 – паливопідкачувальний насос

Рисунок 1.2 – Система живлення дизельного двигуна з насосом-форсунками

Попереднє впорскування проводиться для досягнення плавності згоряння суміші при основному уприскуванні. Основне уприскування забезпечує якісне сумішоутворення на різних режимах роботи двигуна. Додаткове впорскування здійснюється для регенерації (очищення від накопиченої сажі) фільтр сажі.

Робота насос-форсунки здійснюється наступним чином. Кулачок розподільного вала через коромисло переміщує плунжер вниз. Паливо перетікає по каналах форсунки. При закритті клапана відбувається відсічення палива. Тиск палива починає рости. При досягненні тиску 13 МПа голка

розпилювача, долаючи зусилля пружини, піднімається і відбувається попереднє впорскування палива.

Попереднє уприскування палива припиняється при відкритті клапана. Паливо переливається в живильну магістраль. Тиск палива знижується. Залежно від режимів роботи двигуна може здійснюватися один або два попередніх уприскування палива.

Основне впорскування проводиться при подальшому русі плунжера вниз. Клапан знову закривається. Тиск палива починає рости. При досягненні тиску 30 МПа, голка розпилювача, долаючи зусилля пружини і тиск палива, піднімається і відбувається основне впорскування палива.

Чим вище тиск, тим більше кількості палива стискається і відповідно більше впорскується в камеру згоряння двигуна. При максимальному тиску 220 МПа впорскується найбільша кількість палива, тим самим забезпечується максимальна потужність двигуна.

Основне уприскування палива завершується при відкритті клапана. При цьому падає тиск палива і закривається голка розпилювача.

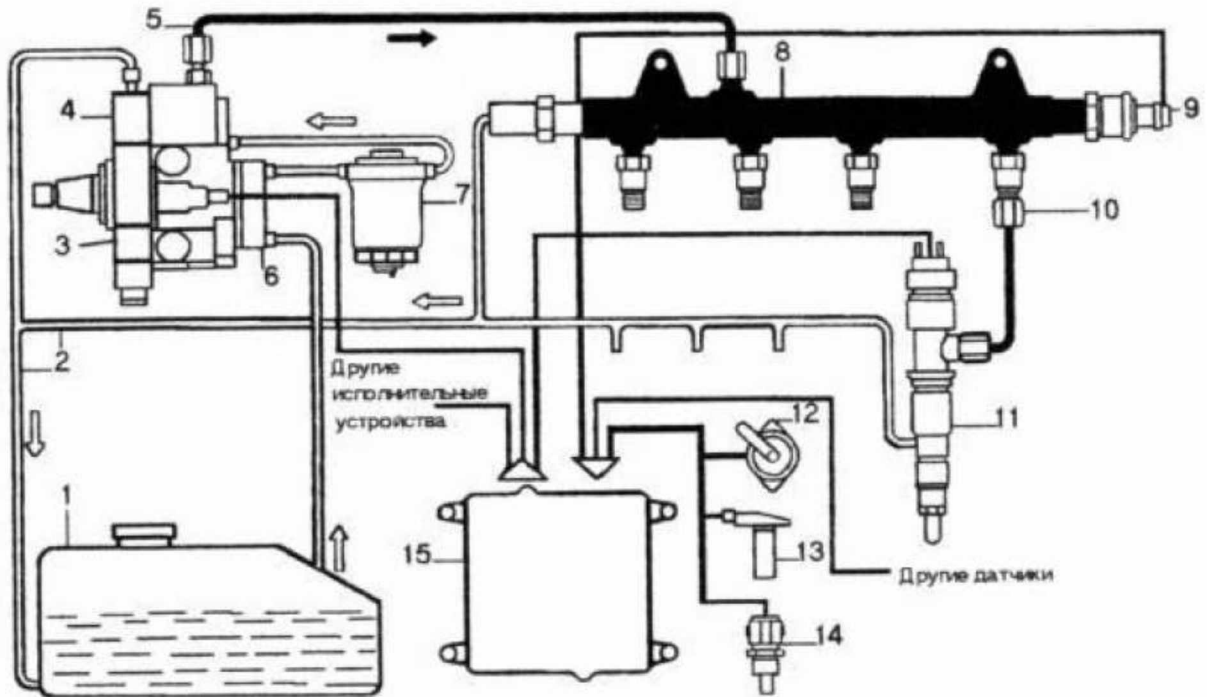
Додаткове уприскування виконується при подальшому русі плунжера вниз. Принцип дії насос-форсунки при додатковому уприскуванні аналогічний основному упорскуванню. Зазвичай проводиться два додаткових уприскування палива.

Перевагою НФ є можливість отримувати високі (до 400 МПа) тиски впорскування, компактність, мінімізація величини порожнин високого тиску, відсутність впливу на процес паливоподачі (ПП) хвильових явищ. У той же час НФ притаманні такі недоліки як складність установки НФ в головці циліндра, забезпечення переміщення плунжера НФ за рахунок обертання кулачкового вала, протяжність якого на високих (більше 2000 хв⁻¹) частотах обертання призводить до виникнення крутильних коливань, що призводять до нестабільності подачі між циліндрами і окремими циклами. Також в НФ проблематично реалізувати багатостадійне впорскування. Зазвичай обмежуючись одно- або дво- стадійним [9].

Даній системі також притаманні і експлуатаційні недоліки, найбільш значний з них – гранична вимогливість насос-форсунок до якості палива. Попадання в систему таких забруднювачів як вода, бруд і сурогатне паливо виводить агрегат з ладу.

Наступним недоліком паливоподаючої системи типу насос-форсунка є висока її вартість. Ремонт даного прецизійного вузла технологічно складний і важко виконуваний в позазаводських умовах, що призводить власників сільськогосподарської техніки з такою системою подачі палива до необхідності купувати нові насос-форсунки. Найбільш поширеними несправностями насос-форсунок є знос розпилювачів і клапанного вузла, причиною виходу з ладу яких, перш за все, є погана якість використовуваного палива і неправильна експлуатація техніки, оснащеної даною системою подачі палива. Труднощі при зимовій експлуатації автотракторного дизеля з НФ пов'язані з неприпустимістю додавання в дизельне паливо таких домішок як бензин, гас, гальмівна рідина і т.д. для доведення його літнього сорту до морозостійкості зимового, що при певній віддаленості від населеного пункту може бути вирішальним фактором. До додаткових витрат також призводить скорочення інтервалів заміни паливних фільтрів. Важливим є той факт, що передбачена установка тільки оригінальних, дозволених заводом-виробником фільтрів, в силу того, що аналоги часто не в змозі забезпечити необхідний рівень фільтрації.

Ширші можливості керування ПП відкриваються при установці на дизель акумуляторної ПС з електронним управлінням, принципова схема якої приведена на рис. 1.3, де функції створення високого тиску і забезпечення заданої контролером характеристики подачі палива розподілені між елементами системи, це дозволяє отримувати різні характеристики ПП, дво- і більше стадійне впорскування при тиску від 20 до 100 МПа і вище. Частка АПС в загальному (світовому) випуску сучасної ПА становить близько 50% [13].



1 – паливний бак; 2 – трубопроводи зливу; 3 – ПНВТ; 4 – регулятор тиску; 5 – паливопровід високого тиску; 6 – паливопідкачувальний насос; 7 – фільтр; 8 – гідроаккумулятор; 9 – датчик тиску; 10 – запобіжний клапан; 11 – електрогідравлічна форсунка; 12 – датчик педалі акселератора; 13 – датчик частоти обертання і положення колінчастого вала; 14 – температурний датчик; 15 – блок управління

Рисунок 1.3 – Схема системи живлення дизельних двигунів «Common Rail»:

Головною відмінною рисою акумуляторних паливних систем з електронним управлінням «Common Rail» є поділ вузла, що створює тиск (ПНВТ – акумулятор) і вузла впорскування (форсунки). Акумуляторні паливні системи застосовувалися ще в 50-і роки на двигунах морських суден.

На серійних автотракторних дизелях акумуляторна паливна система з електронним керуванням без мультиплікаторів тиску, названа Common Rail (Коммон рейл), із застосуванням електронного управління, з'явилася в 1997 році. Застосування даної системи, в порівнянні зі звичайною, дозволяє

знизити витрату палива до 40% при одночасному зменшенні токсичності відпрацьованих газів і зниження шумності при роботі на 10%.

Система «Common Rail» передає моторному маслу великі навантаження. Через більш інтенсивне горіння верхня частина поршнів нагрівається набагато сильніше, ніж у традиційного дизельного двигуна. Верхня частина поршня у традиційного двигуна безпосереднього впорскування нагрівається до 320- 350 ° С, при системі «Common Rail» понад 400 С, тобто моторне масло вигорає значно швидше. В результаті в таких двигунах виникає потреба в синтетичних маслах, або в напівсинтетичних матеріалах.

Також значними недоліками даних систем насос-форсунка і Common Rail є мала ремонтпридатність їх агрегатів і гранична чутливість до якості палива. Результатом роботи системи на неякісному паливі стає, як правило, заміна вузла цілком, тому що ремонт навіть зі спеціалізованим обладнанням не може забезпечити правильну її роботу.

Всі ці недоліки сильно ускладнюють експлуатацію сільськогосподарських машин з системами ПП типу НФ і Common Rail, пред'являючи підвищені вимоги не тільки до вибору сервісних майстерень і комплектуючих, але також АЗС, безпосередньо палива та інших експлуатаційних матеріалів.

1.3. Вплив несправностей паливоподаючої апаратури на працездатність автотракторних дизелів

ПА є високонавантаженою системою дизельного автотракторного ДВЗ. За розрахунками різних дослідників ПА, дизель великовантажного автотракторного транспортного засобу в сучасних умовах експлуатації перевитрачатиме від 2 до 3 тонн палива на рік, одночасно збільшуючи викид в атмосферу шкідливих компонентів [14,15]:

- CO – на 100-150 кг,

- СН – на 30-50 кг.

При оперативному ТО ПА дизеля, можливо отримати зниження паливних втрат до 30-40% і скорочення напрацювання на відмову ДВЗ на 15-20% за результатами діагностування. Несправність ПА веде до перевитрати палива, втрати пускових, тягових, економічних і екологічних властивостей дизеля. Зокрема, при несправній ПА автотракторний дизель малого об'єму (2,5-3,0 л) за 10 тис. км пробігу перевитрачатиме до 150 кг палива, а через несправність однієї форсунки такого ж двигуна – до 15 кг. Зі збільшенням робочого об'єму двигуна втрати зростають практично пропорційно [16].

Несправності в механізмах, вузлах паливних насосів і регуляторів проявляються в порушенні вихідних регулювань від зносу деталей у виникненні сторонніх шумів, перегрів рухомих спряжень і витоку палива [12, 17]. Основною причиною несправності насоса є знос його деталей. При цьому послаблюються натяг в нерухомих посадках і збільшується зазор в рухомих спряженнях, порушується правильне взаємне розташування деталей, змінюється поверхнева твердість деталей, накопичуються сторонні відкладення у вигляді бруду, нагару і ін. [18, 19].

При аналізі основних експлуатаційних несправностей деталей і вузлів ПА дизелів були виявлені 2 види несправностей, в результаті яких втрачається працездатність ПА, або погіршуються техніко-економічні показники роботи ДВЗ і сільськогосподарської техніки в цілому. До першого виду несправностей відносяться [18, 20]:

- зріз шпонки шліцевої втулки приводу насоса;
- зріз шпонки шліцевої шестерні приводу регулятора;
- поломка кулачкового вала;
- поломка підшипників кулачкового вала;
- поломка шпонки і валика кулачкового вала насоса;
- заклинювання плунжерів ПНВТ.

Як правило, перераховані несправності викликають повну відмову ПНВТ або значне відхилення його функціональних характеристик. До них

може привести тривала робота ПА з відхиленнями від заданих заводом виробником граничних характеристик і робота на забрудненому паливі. При несправності другого виду знижується потужність, екологічність і економічність двигуна, скорочується обсяг подачі палива, зростає її нерівномірність і тривалість, до них відносять [18,20]:

- знос плунжерних пар і їх ущільнювачів;
- знос нагнітальних клапанів;
- знос повідків плунжерів;
- знос хомутиків рейки;
- знос зубів рейки;
- деформація трубопроводів ЛВТ;
- деформація пружин ПНВТ;
- відмова роботи форсунки;
- знос площини регулювального болта штовхача;
- знос осі ролика;
- знос корпусу штовхача;
- знос ролика;
- знос шарикопідшипників і спряжених з ними гнізд корпусу насоса;
- знос кулачкового вала;
- негерметичність ущільнень.

Нерівномірна подача палива в циліндри двигуна призводить до нестійкої роботи його на малих обертах, перебоїв в роботі окремих циліндрів, значної вібрації блоку двигуна.

Нормальна робота ПА характеризується безперебійністю подачі палива і хорошим його розпилюванням в циліндрі. Суттєво впливає на роботу ПА і якість палива (наявність або відсутність води та механічних домішок, в'язкість).

Спостереження за роботою ПА зводиться до її профілактики (промивці паливної системи), випробувань і регулюванню. Однак діагностування ПА за

параметрами її роботи дозволить скоротити частку відмов і несправностей дизеля, а також істотно скоротити витрати на його експлуатацію.

1.4 Діагностування технічного стану паливної апаратури автотракторних дизелів

Своєчасне виявлення пошкоджень і несправностей вузлів і агрегатів сільськогосподарської техніки призводить до зниження інтенсивності їх відмов, а як наслідок, до скорочення витрат на їх експлуатацію.

В даний час в умовах підвищення паливної економічності і зниження кількості шкідливих викидів автотракторної засобами вводиться комплекс критеріїв оцінки енергетичних і якісних параметрів паливоподаючі систем ДВЗ [21], до яких відносяться: динамічний коефіцієнт подачі палива, коефіцієнт відносної потужності розпилювання палива до середньої ефективної потужності циліндра дизеля, що обслуговується, коефіцієнт стабільності розпилювання палива, критерій інтенсифікації впорскування.

Методи, що отримали поширення в технічному діагностуванні дизелів [14, 21], як правило, виконуються при знятті вузла або агрегату з дизеля для його часткового розбирання або регулювання. Застосування стенда в польових умовах ускладнюється тим, що необхідно забезпечити захист діагностованих вузлів від зовнішнього впливу пилу. Також зняття вузла або агрегату сприяє зниженню його терміну служби на 15-20%, навіть якщо деталь не ремонтується. У зв'язку з цим розширюється застосування сучасних безконтактних і нерозбірних методів діагностування, заснованих на аналізі вихідних параметрів дизеля, які функціонально пов'язані з його структурними параметрами. Таке діагностування є підсистемою інформації при управлінні технічним станом автотракторної техніки і дозволяє виявити несправність систем і елементів дизеля до настання відмови, без його розбирання [21].

На сьогоднішній день питання нерозбірних методів технічного діагностування ПА дизелів сільськогосподарської техніки досліджені недостатньо глибоко. Існують певні напрацювання з діагностування дизелів, експлуатованих на тракторах і комбайнах [22]. А так як процес подачі палива автомобільних, танкових і тракторних дизелів ідентичний, деякі методи і засоби їх технічного діагностування ПА стають в нагоді до сільськогосподарської техніки.

Відомі методи діагностування паливоподаючої апаратури дизелів [2, 14, 23] можна розбити на групи по діагностичним параметрам і показникам:

- діагностування за характеристиками роботи ПТА;
- діагностування за параметрами ПА;
- діагностування за показниками роботи двигуна.

Розглянемо можливість застосування зазначених методів технічного діагностування паливоподаючої апаратури автотракторного дизеля. Найбільш поширеним є метод діагностування за основними показниками роботи дизеля. При застосуванні даного методу діагностування проводять за непрямыми ознаками, що може призвести до помилкових постановок несправностей більш ніж в 50% випадків, навіть в разі проведення діагностування досвідченим механіком. Ознаки порушення роботи ПА автотракторного дизеля за показниками роботи ДВЗ представлені в табл. 1.1 [22].

Однак зниження потужності ДВЗ на 15-20%, що є наслідком погіршення технічного стану паливоподаючої апаратури, не завжди можливо виявити за непрямыми ознаками.

По зміні обертів холостого ходу дизеля проводять контроль роботи регулятора, проте по ним не завжди можна оцінити швидкісний режим, утримуваний роботою регулятора під навантаженням, що призводить до рекомендації перевірити, скільки оборотів дизеля під навантаженням. Також не висока інформативність діагностування ПА дизеля за параметрами димності вихлопних газів і стукам.

Таблиця 1.1 – Ознаки порушення нормальної роботи паливної системи дизельного двигуна і необхідні технічні дії

Зовнішні ознаки (симптоми) порушення нормальної роботи	Структурні зміни взаємодіючих елементів	Необхідні діагностичні, профілактичні та ремонтні дії
Утруднений пуск двигуна. Нестійка робота двигуна	Порушення герметичної паливної системи	Перевірити герметичність, при необхідності закріпити елементи
Двигун глохне або не розвиває достатньої потужності	Засмічення фільтруючих елементів паливних фільтрів	Промити або замінити фільтруючі елементи
Двигун глохне, не розвиває достатньої частоти обертання колінчастого валу	Відмова в роботі паливного насосу	Зняти та розібрати насос, при необхідності замінити деталі
Двигуна працює нерівномірно і не озвиває потужності	Засмічення фільтрів форсунок	Перевірити стан фільтрів
Двигун не розвиває потужності, димний випуск	За коксування продук очних віконць в гільзах циліндрів	Перевірити та прочистити віконця
Утруднений запуск та нерівномірна робота двигуна	Порушення нормальної роботи форсунок	Зняти форсунки та перевірити на приладі
Нерівномірна та «жорстка» робота двигуна, випуск чорного кольору	Порушення кута випередження впорскування палива	Перевірити та відрегулювати установку кута випередження впорскування
Нерівномірна робота двигуна зі стуками та димним випуском	Порушення регулювання рейок паливного насосу	Перевірити та відрегулювати рівномірність подачі палива в циліндри
Двигун надмірно збільшує частоту обертання, іде «врозніс»	Порушення роботи регулятора	Перевірити та відрегулювати регулятор або відремонтувати
Двигун не розвиває потужність, у повітроочиснику темне масло	Забруднення повітроочисника	Промити фільтруючий елемент, залити масло

З відомих методів інструментального контролю техніко-економічних показників швидкохідного автотракторного дизеля найбільш актуальними є [23]:

- безгальмівний метод Ждановського;
- метод визначення потужності дизеля по пробігу;
- парціальний метод.

Сутність безгальмівного і парціального методів полягає у відключенні декількох циліндрів працюючого двигуна, що сприяє сприйняттю працюючими циліндрами не тільки навантаження, виробленої навантажувальними пристроями, а й додаткової – від механічних втрат, що відбуваються у виключених циліндрах. Потужність працюючого циліндра, в даному випадку, визначається за кількістю оборотів двигуна, одночасно контролюючи витрату палива задіяними циліндрами. Розглянуті методи дозволяють оцінити загальний технічний стан дизеля, але контроль стану паливоподаючої апаратури утруднений безліччю факторів, що впливають на зниження потужнісних і економічних показників двигуна. Так, витрата палива в разі втрати компресії збільшується на 4-6%, а при зниженні робочої температури двигуна (температури охолоджуючої рідини) нижче 75°C або утворенні нагару в камері згоряння – на 7-12%.

Таким чином, показники роботи дизеля залежать як від роботи ПА, так і від інших його вузлів і агрегатів, що ускладнює використання даних показників як діагностичного критерію.

Газоаналітичний метод діагностування паливоподаючої апаратури дизеля Д-240 [24], полягає на оцінюванні якості процесів сумішоутворення і згоряння ґрунтуючись на показники за вмістом сажі і CO_2 у відпрацьованих газах. Жорсткість норм, по вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах дизелів збільшило число параметрів, що діагностуються даними методом, що знижує інформативність його діагностичних параметрів.

Методика діагностування ПА дизеля за параметрами її роботи зводиться до оцінки якості регулювання і стану основних елементів ПА. Так

по максимальному тиску уприскування, кількості палива, що подається і коефіцієнту подачі контролюють стан плунжерної пари ПНВТ. Відомо, що процес подачі палива дизеля визначається роботою плунжерної пари, знос якої призводить до його порушення – збільшення нерівномірності подачі палива, особливо це проявляється на режимах пуску двигуна [24].

Відхилення подачі палива зношеною плунжерною парою на пусковому режимі можуть досягати 70-75%, щодо нової [23], а при номінальному швидкісному режимі дизеля нерівномірність подачі палива з 3-5% збільшується до 10-15%. Також знос плунжерної пари сприяє запізнюванню початку подачі палива і значному скороченні тривалості його впорскування на малих обертах, що призводить до збільшення годинної витрати палива до 6% і зниження ефективної потужності дизеля до 12%. Прогресуючий знос плунжерної пари, що утворюється в процесі експлуатації, істотно впливає на закономірність подачі палива.

Такий вплив зносу плунжерної пари на показники роботи дизеля і параметри впорскування його ПА призвело до поширення різних методів контролю її технічного стану.

Найбільш відомим є метод контролю технічного стану плунжерної пари по максимальному тиску уприскування палива, який може проводитися в атмосферу, або в глуху замкнуту камеру. При діагностуванні першим способом використовують максиметр [24]. Однак, даний метод непридатний для кількісної оцінки гідравлічної щільності плунжерної пари в силу малого діапазону тисків (до 50 МПа), неминучих витоків палива через голку і малої точності приладу.

Для контролю технічного стану плунжерної пари на двигуні використовують вимірювання кількості палива, що подається через форсунку, при заданій швидкості обертання кулачкового вала насоса. При використанні даного методу, при малих подачах, проявляється додаткова похибка внаслідок витoku палива уздовж направляючої голки розпилювача.

Також цей метод не отримав широкого поширення в силу відносно малої точності і великої трудомісткості вимірювань.

Наступним методом контролю зносу плунжерній пари є оцінка по коефіцієнту подачі – відношенню подачі палива плунжерною парою через форсунку до подачі палива без форсунки. Однак цей спосіб має ті ж недоліки, що і попередній, так як є його різновидом.

Наслідком, на основі аналізу методів контролю технічного стану плунжерної пари ПНВТ дизеля в експлуатації можна зробити висновок, що реалізовані способи контролю мають малу точність і продуктивність. Одночасно їх використання з метою діагностування ПА нерентабельно, внаслідок високої трудомісткості і необхідності значної кількості складально-розбиральних робіт.

На характеристики паливоподаючої апаратури також впливає нагнітальний клапан ПНВТ, яке визначається зносом його розвантажувального пояса. Такий знос погіршує якість відсічення палива і підвищує залишковий тиск в паливопроводі, що призводить до утворення додаткового уприскування палива з малим тиском – підвприску, що істотно знижує показники потужності та економічні параметри дизеля.

Істотна частина методів визначення кута випередження і тривалості упорскування застосовуються для діагностування тракторних дизелів. Для автотракторних дизелів, при експлуатації, рекомендується контролювати кут випередження впорскування палива моментоскопом. В цьому випадку його приєднують до штуцера 1-ї секції ПНВТ і перевіряють збіги регулювальної позначки шківів колінчастого вала з відміткою на кришці шестерень розподільного вала, зіставляючи це з моментом початку руху меніска палива в трубці приладу. Застосування цього методу виправдано при нових плунжерній парі і нагнітальному клапані, так як їх знос може привести до суттєвих помилок діагностування. При зносі нагнітального клапана насоса (витоку палива через запірний конус або розвантажувальний пояс) меніск палива в трубці приладу буде переміщатися з випередженням, а при зносі

плунжерної пари (збільшення зазору плунжер-втулка, знос ущільнень) – із запізненням.

Доступні прилади, для визначення випередження і тривалості подачі палива, використання яких передбачає мінімальне втручання в роботу ПА дизеля. В цьому випадку характерна установка датчиків в лінію високого тиску (ЛВТ).

При визначенні кута випередження подачі палива наведеними методами необхідно мати доступ до маховика або будь-якого шків дизеля, що має мітки, для контролю за допомогою стробоскопа, що в цілому знижує зручність їх використання. Для підвищення якості використання даних методів розглядається установка на дизель імпульсного датчика, відповідному положенню поршня у верхній мертвій точці. У цьому випадку для визначення кута випередження впорскування палива сигнал з даного датчика зіставляють з контрольованим імпульсом.

Наступним важливим показником роботи ПА дизеля є продуктивність секції його ПНВТ. Замір витрати палива при діагностуванні може проводитися по еталонній форсунці, або зі зняттям окремих форсунок [25].

Однак, при роботі на окремих циліндрах складно домогтися стійкої роботи двигуна на малих обертах і на номінальному швидкісному режимі. Також при такому методі можуть виявитися помилки, внаслідок того, що паливоподача визначається продуктивністю плунжерної пари і технічним станом форсунки. Погіршення технічного стану форсунок призводить до підвищення витрат палива та димності відпрацьованих газів, зниження потужності двигуна, падіння стійкості роботи на малих обертах.

Вищенаведене свідчить про невисоку ефективність існуючої системи технічного обслуговування ПА.

У зв'язку з перерахованими причинами потрібен новий підхід до визначення технічного стану ПА високого тиску дизелів. Таким методом може бути контроль технічного стану ПА автотракторного дизеля по переміщенню голки форсунки.

Висновки, мета і завдання досліджень

Вивчення літературних джерел та їх аналіз дозволяє зробити наступні висновки:

1. В даний час до 70% експлуатованої сільськогосподарської техніки оснащено паливною апаратурою з розділеною системою впорскування, діагностування якої вимагає демонтажу і часткового розбирання основних її вузлів та агрегатів;

2. Існуючі методи та засоби діагностування ПА дизеля з розділеною системою впорскування відрізняються різноманіттям використовуваних діагностичних параметрів, недостатньою точністю і порівняно великою трудомісткістю, що обмежує їх застосування в різних умовах;

3. Наявні пристрої діагностування ПА не відповідають вимогам підприємств: вони або малоінформативні, або дорогі. Перспективним напрямком, поряд з наявними, є переміщення голки форсунки, як діагностичного параметра, пов'язаного зі зміною тиску подачі палива і зносом спряження «плунжер-втулка» плунжерної пари ПНВТ і визначає працездатність ПА дизеля.

Мета дослідження: забезпечення працездатності ПНВТ дизельного двигуна вдосконаленням діагностування плунжерних пар.

Завдання дослідження:

1. Теоретично обґрунтувати діагностування плунжерних пар ПНВТ дизеля по переміщенню голки форсунки діагностичного пристрою з розробкою математичної моделі зміни тиску подачі палива.

2. Удосконалити алгоритм діагностування паливної апаратури дизеля із обґрунтуванням періодичності діагностування для збільшення його ресурсу.

3. Провести розрахунок економічного ефекту за результатами дослідження.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Програма і методи експериментальних досліджень

Відповідно до поставленої мети, сформульованими завданнями дослідження і проведеними аналітичними дослідженнями розроблена програма дослідження, представлена на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Схема програми дослідження

На етапі експериментальних досліджень, відповідно до розроблених методик, проведено аналіз і оцінка існуючих регульовально-діагностичних пристроїв паливної апаратури автотракторного дизеля. Розроблена конструкція пристрою, що дозволяє оптимізувати процес діагностування паливної апаратури дизеля і схема його інтеграції в існуючі конструкції системи живлення дизеля. На підставі аналізу отриманих результатів стендових і експлуатаційних досліджень, зроблені висновки щодо ефективності запропонованого пристрою.

Розглянуто методику оптимізації пристрою за конструктивними і режимним параметрам.

Розглянуті вище цілі і завдання наукового дослідження визначають вибір, постановку і організацію експериментального дослідження ПА автотракторного дизеля. Експеримент передбачає оцінку і дослідження з певною метою реакції досліджуваної системи (процесу) на сформоване (плановане або неплановане) збурення (або управління). За спостережуваними особливостям реакцій і збурень встановлюються закономірності досліджуваної системи або процесу, визначаються її параметри (константи процесів).

Для найкращого гарантованого вирішення завдань дослідження використовувалися наступні методи експериментального дослідження: натурні, лабораторні (активні і пасивні), експлуатаційні та модельні.

Реалізація та вдосконалення методу експериментального дослідження здійснюється за наступними напрямками:

- вибір і вдосконалення способу формування умов експерименту;
- вирішення питань організації проведення експерименту;
- вибір способу і якісне вдосконалення характеристик зовнішніх впливів на об'єкт, що вивчається;
- вибір і вдосконалення характеру взаємодії засобів експериментального дослідження з досліджуваним об'єктом.

Існують різні способи створення необхідних умов роботи досліджуваної ПА по зовнішніх чинниках, види випробувальних впливів і способи внесення їх в систему. При дослідженні ПА дизелів зазвичай вносять наступне:

- регулювання ПНВТ (управління характеристиками циклової подачі палива);
- зміна зворотних зусиль пружних елементів ПТА;
- зміни величини зазорів в прецизійних парах;
- підігрів елементів і робочих рідин та ін.

Аналіз способів внесення таких збурень показує, що всі вони вимагають створення спеціального обладнання. Це ускладнює роботу дослідника, збільшує витрати часу і коштів на проведення досліджень.

Дослідження причин відмов ПА автотракторного дизеля проводилися по двигунах сімейства КАМАЗ-740, оснащеним ПА з розділеною системою впорскування. Розглядалася ПА двох груп: неремонтовані вузли; ті, що пройшли поточний ремонт ПНВТ.

Напрацювання до заміни деталей, механізмів двигуна визначали по спідометру (для автомобілів), дорожнім листами, технічним паспортам, щоквартальним зведенням, довідками та актами про напрацювання. Вимірювання експлуатаційних і технічних показників спряжень двигуна проводили за допомогою наявних і спеціально розроблених пристроїв.

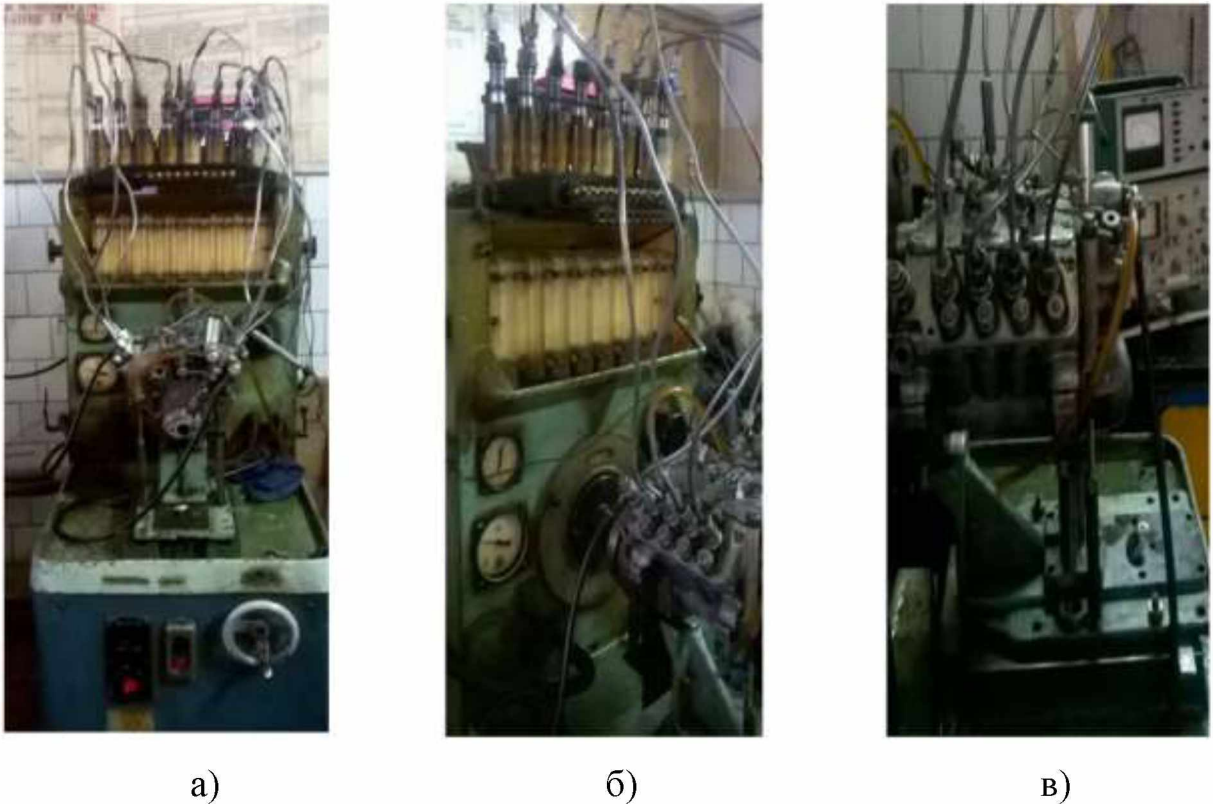
2.2. Прилади та інструменти, що використовувалися при проведенні досліджень

Перед дослідженням проводилась настройка пропонованої форсунки з оптичним інфрачервоним датчиком переміщення голки на регульовальному стенді ДД10-01 (рис. 2.1).

На стенді проводилася регулювання циклової подачі палива плунжерними парами через еталонні форсунки на різних режимах роботи при положенні рейки на 100%. Потім проводили заміну однієї форсунки на модернізовану, для дослідження переміщення голки форсунки на сталих режимах пуску двигуна, холостого ходу, номінальної потужності.

Вимірювання положень переміщення плунжера ПНВТ здійснювалося на демонтованому кулачковому валу ПНВТ індикатором годинного типу ИЧ-25 з ціною поділки 0,01 мм. Визначення кута повороту кулачкового вала здійснювалося за допомогою диска діаметром 200 мм, з круговою шкалою, сусідні риски якої розташовані під кутом 5° повороту кулачкового вала

(п.кул.в.) і нерухомого покажчика, розташованого на станині, що утримує кулачковий вал (рис. 2.2).



а) загальний вигляд стенда; б) прилади для вимірювання основних показників роботи ПНВТ внизу - тиск палива, вгорі - частота обертання кулачкового вала ПНВТ, над приводом ПНВТ - кут повороту вала ПНВТ, під форсунками мірні колби; в) осцилограф і аналізатор паливної апаратури К-261, що використовуються для вимірювання показників роботи ПНВТ

Рисунок 2.1 – Регулювальний стенд ДД10-01 з встановленим ПНВТ

Вимірювання миттєвих значень тиску палива в ЛВТ здійснювали аналізатором паливної апаратури К-261 з п'єзоелектричним датчиком тиску. Діапазон вимірювання тиску від 0 до 600 МПа.

Датчик встановлений в систему подачі палива у ПНВТ, через спеціальний штуцер, що забезпечує щільне сполучення деталей паливоподаючої апаратури.



Рисунок 2.2 – Пристосування та прилади для вимірювання переміщення плунжера від повороту кулачкового валу ПНВТ дизеля сімейства КАМАЗ-740

Методика визначення залежності швидкості переміщення плунжера від кута повороту кулачкового валу ПНВТ автотракторного дизеля сімейства КАМАЗ-740 проводилася за непрямыми вимірами. Спочатку вимірювалася залежність переміщень плунжера від кута повороту кулачкового валика ПНВТ, яка потім диференціювалася для заданої кутової швидкості кулачка. Пристосування та прилади для вимірювання переміщення плунжера від повороту кулачкового валу ПНВТ автотракторного дизеля КАМАЗ-740.

Порядок операцій методики вимірювання переміщення плунжера від повороту кулачкового валу ПНВТ дизеля полягав у наступному:

- кулачковий вал ПНВТ встановлювався на опори, розташовані на рівній горизонтальній поверхні;
- установка механічного індикатора годинникового типу ИЧ-25 проводилося на окремій станині так, щоб його вимірювальний стрижень розташовувався на робочій поверхні кулачка перпендикулярно осі кулачкового валу у вертикальній площині, що перетинає вісь валу;
- на місці індикатора ИЧ-25 встановлювалося положення «0» за допомогою регулювальних гвинтів станини його власника;

- вимірювання значень положень плунжера за шкалою індикатора проводилося по кожному куту повороту кулачкового вала ПНВТ, відповідний $5^{\pm 0,25^\circ}$ п.кул.в,

- обчислення значень миттєвої швидкості переміщення плунжера (c_{pi}) по куту повороту кулачкового вала проводилося за формулою:

$$c_{pi}(\varphi_{п.кул.в.}) = \frac{\Delta h_i}{\Delta \varphi_i} \cdot \omega_{кул.в.} \quad (2.1)$$

де Δh – переміщення плунжера, (м); $\Delta \varphi$ – кут повороту кулачкового вала ПНВТ; ω – кутова швидкість обертання кулачкового вала ПНВТ, (рад/с); i – номер вимірювання.

Загальний вигляд пристрою для діагностування плунжених пар ПНВТ автотракторного дизеля представлений на рис. 2.3 (зліва – цифровий осцилограф, справа – форсунка дизельного двигуна з датчиком переміщення голки). Пристрій включає форсунку дизельного ДВЗ з інфрачервоним оптичним датчиком переміщення голки, яка пов'язана за допомогою дроту з осцилографом. Для установки датчика переміщення голки була використана штатна форсунка дизеля, що дозволило забезпечити легкознімне і герметичне з'єднання пристрою в систему подачі палива.



Рисунок 2.3 – Пристрій діагностування ПА дизеля

Блок реєстрації включає осцилограф і ПК для прочитання сигналу від інфрачервоного оптичного датчика переміщення голки форсунки. На місце штатної форсунки встановлюють модернізовану. При діагностуванні прогрітій до робочих температур двигун КАМАЗ запускають в режимі холостого ходу (600 хв^{-1}).

Розміщення пристрою на дизелі в лабораторних умовах представлено на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 – Розміщення пристрою на дизелі в лабораторних умовах

Для виявлення інформативної частоти обертання колінчастого вала при діагностуванні пристроєм проводили експериментальні дослідження в лабораторних умовах в робочому діапазоні частот обертання колінчастого вала. Дослідження в лабораторних умовах показали, що стабілізація параметрів переміщення голки форсунки забезпечується роботою дизеля на мінімальній частоті обертання колінчастого вала при температурі охолоджуючої рідини дизеля $90 \dots 95^\circ\text{C}$.

Висновки

Розроблено схему загальної методики дослідження, розрахований мінімальний обсяг вибірки забезпечує похибку вимірювань не більше 5%,

визначена ймовірність безвідмовної роботи, розрахований коефіцієнт кореляції аналітичних і експериментальних залежностей, що свідчить про високий ступінь відповідності отриманих даних.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Обґрунтування способу діагностування відмов елементів розділеної паливної апаратури дизеля

Обґрунтування діагностування відмов розділеної ПА автотракторного дизеля виконується з метою підвищення показників інформативності і точності діагностичних процедур системи технічної діагностики (СТД). Проводиться обґрунтування: необхідної кількості діагностичних змінних і параметрів відмов; діагностичних математичних моделей (ММ); чисельних процедур висновків про наявність чи відсутність відмов; структури діагностичних алгоритмів та ін.

Діагностичні ММ формуються на основі ММ фізики динамічних процесів в ПА дизеля і використовуються для вибору необхідної кількості діагностичних змінних. У загальному випадку, для забезпечення повної інформативності в СТД потрібно, щоб контрольовані змінні збігалися зі змінними, що характеризують стан об'єкта, що діагностується, і були спостерігаються. Оцінка точності діагностичних ММ проводиться за допомогою порівняння результатів їх інтегрування чисельними методами обчислювальної математики з даними, отриманими в експерименті. Діагностичні динамічні ММ використовуються в алгоритмах СТД, тому працездатність алгоритмів СТД, оцінюється за допомогою моделювання СТД в середовищі візуального графічного програмування Simulink з використанням структурних схем діагностичних ММ і елементів логіки алгоритмів. Виявлена в процесі моделювання працездатність діагностичних алгоритмів СТД є їх теоретичним обґрунтуванням.

Процес зміни тиску в порожнині над плунжером залежить від особливостей наступних процесів: стискання дизельного палива; витрати палива при закінченні через щілину між плунжером і втулкою; витрати палива при закінченні через канал коригуючого клапана ПНВТ [11, 15, 26].

Для розрахунку коефіцієнта стискання α (м²/Н) використовувалася таблична експериментальна залежність істинного і середнього значень коефіцієнтів стискання дизельного палива [10] від поточного тиску p (Н/м²), яка в формі графіків приведена на рис. 3.1.

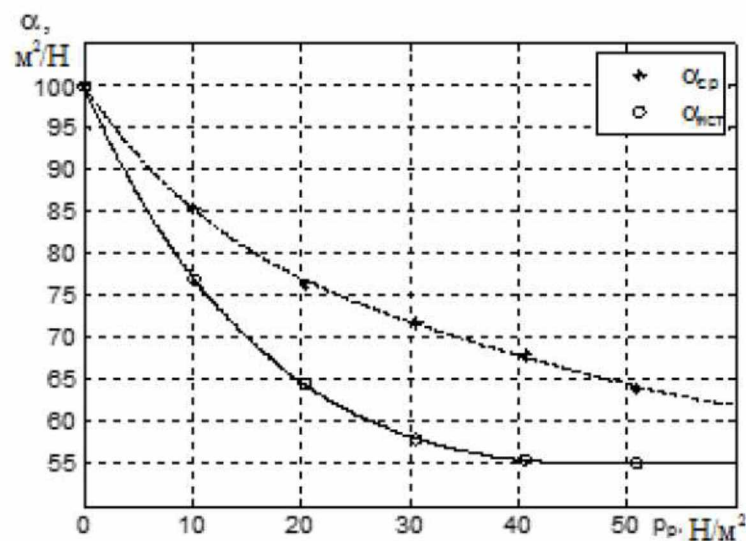


Рисунок 3.1 – Залежність коефіцієнта стиснення α дизельного палива від поточного тиску p : $\alpha_{ист}$ – істинний коефіцієнт стискання; $\alpha_{ср}$ – середні значення коефіцієнта стискання

За табличними даними залежності коефіцієнта стискання α дизельного палива від поточного тиску p побудовані наступні регресійні математичні залежності:

- значення середнього коефіцієнта стискання дизельного палива $\alpha_{ср}$ від поточного тиску p в формі многочлена четвертого порядку:

$$\alpha_{ср} = \alpha_1 \cdot p^4 + \alpha_2 \cdot p^3 + \alpha_3 \cdot p^2 + \alpha_4 \cdot p + \alpha_5, \quad (3.1)$$

де регресійні коефіцієнти $\alpha_1 = 5,1569 \cdot 10^{-6}$; $\alpha_2 = -8,3799 \cdot 10^{-4}$; $\alpha_3 = 0,0531$; $\alpha_4 = -1,9148$; $\alpha_5 = 100,06$;

- значень істинного коефіцієнта стискання дизельного палива α_{icm} від поточного тиску над плунжером p в формі многочлена п'ятого порядку:

$$\alpha_{icm} = \alpha_1 \cdot p^5 + \alpha_2 \cdot p^4 + \alpha_3 \cdot p^3 + \alpha_4 \cdot p^2 + \alpha_5 \cdot p + \alpha_6, \quad (3.2)$$

де регресійні коефіцієнти $\alpha_1 = -7,5712 \cdot 10^{-8}$; $\alpha_2 = 1,4734 \cdot 10^{-5}$; $\alpha_3 = -0,0014$; $\alpha_4 = -2,9671$; $\alpha_5 = 0,0825$; $\alpha_6 = 99,997$.

При розрахунках процесу подачі в елементах ПА в диференціальні рівняння математичної моделі процесу стискання зазвичай вводиться істинний коефіцієнт стискання дизельного палива.

Рівняння об'ємної витрати витоків з порожнини над плунжером по щілини між втулкою і плунжера, має такий вигляд [26]:

$$Q_{pH} = \pi \cdot \beta_e \cdot \Delta p^2 \cdot \delta_p^3 \cdot d_p \cdot \ln(c_\mu) / (12 p_0 \cdot \delta_p \cdot \mu_{mo} \cdot l_p) (c_\mu^{\Delta p / p_0} - 1) \pm \pm (\pi \cdot c_p \cdot d_p \cdot \delta_p / 2), \quad (3.3)$$

де β_e – поправочний коефіцієнт на ексцентричність спряження (від 1,15 до 1,4); $\Delta p = p_p - p_o$ – перепад тиску в щілині, (Н/м²); δ_p – величина кільцевого зазору, (м); $c_\mu = 1,0025$ – коефіцієнт з постійним значенням; μ_{mo} – динамічна в'язкість палива (кг/(с·м)) при атмосферному тиску $p_o = 0,1$ МПа; d_p, l_p – відповідно, діаметр і довжина втулки, (м); c_p – швидкість плунжера ПНВТ, (м/с).

У рівнянні (3.3) враховується зміни коефіцієнта динамічної в'язкості μ_{mp} від тиску p_p над плунжером ПНВТ:

$$\mu_{mp} = \mu_{mo} \cdot c_\mu^{p/p_0}. \quad (3.4)$$

Відомі різні залежності коефіцієнта кінематичної в'язкості палива від температури. Коефіцієнти динамічної μ_{mp} і кінематичної ν в'язкості дизельного палива пов'язані між собою за наступним виразом [10]:

$$\nu = \mu_{mp} / \rho_m. \quad (3.5)$$

де ρ_m – щільність дизельного палива, (кг/м³).

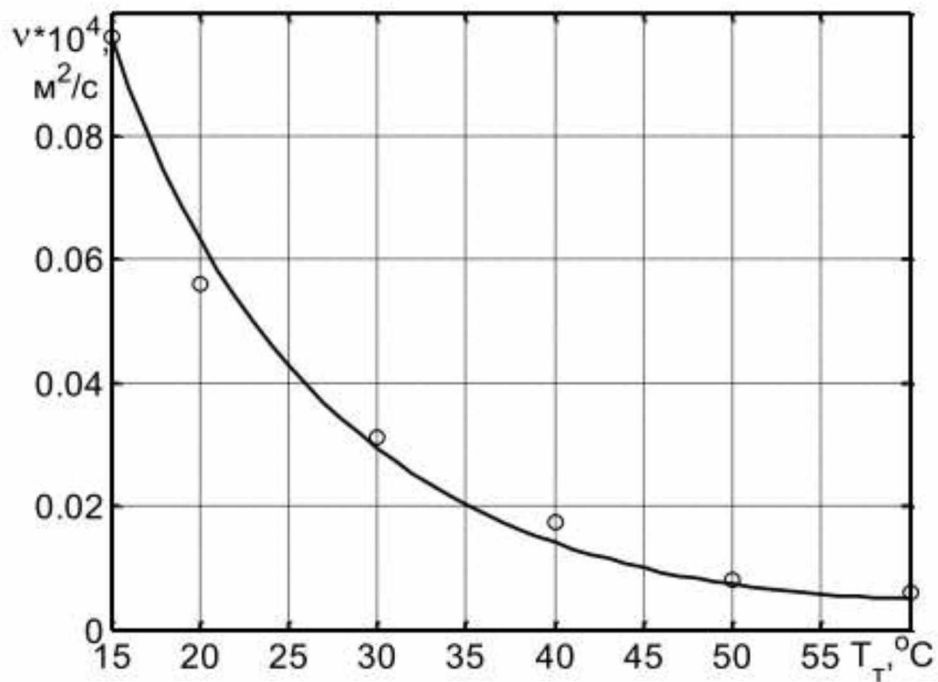
Значення динамічної в'язкості μ зазвичай розраховуються за значеннями кінематичної в'язкості ν , отриманої експериментально.

За табличними даними експериментальної залежності кінематичної в'язкості дизельного палива від його температури T_m , [26] побудована відповідна їй регресійна залежність, яка має наступний вигляд:

$$\nu = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot \log(T_m) + \alpha_3 \cdot \log(T_m)^2, \quad (3.6)$$

де регресивні коефіцієнти, $a_1 = 0.76149543$; $a_2 = -0.36487040$; $a_3 = 0.043988593$; T_m – температура дизельного палива, (°C).

Регресійна залежність (3.6) кінематичної в'язкості ν дизельного палива від його температури T_m в формі графіка наведена на рис. 3.2.



о – дані експерименту; – - розрахунок по регресійній математичній моделі

Рисунок 3.2 – Залежність кінематичної в'язкості ν дизельного палива від його температури T_m

3.2. Дослідження зміни переміщення голки форсунки дизеля

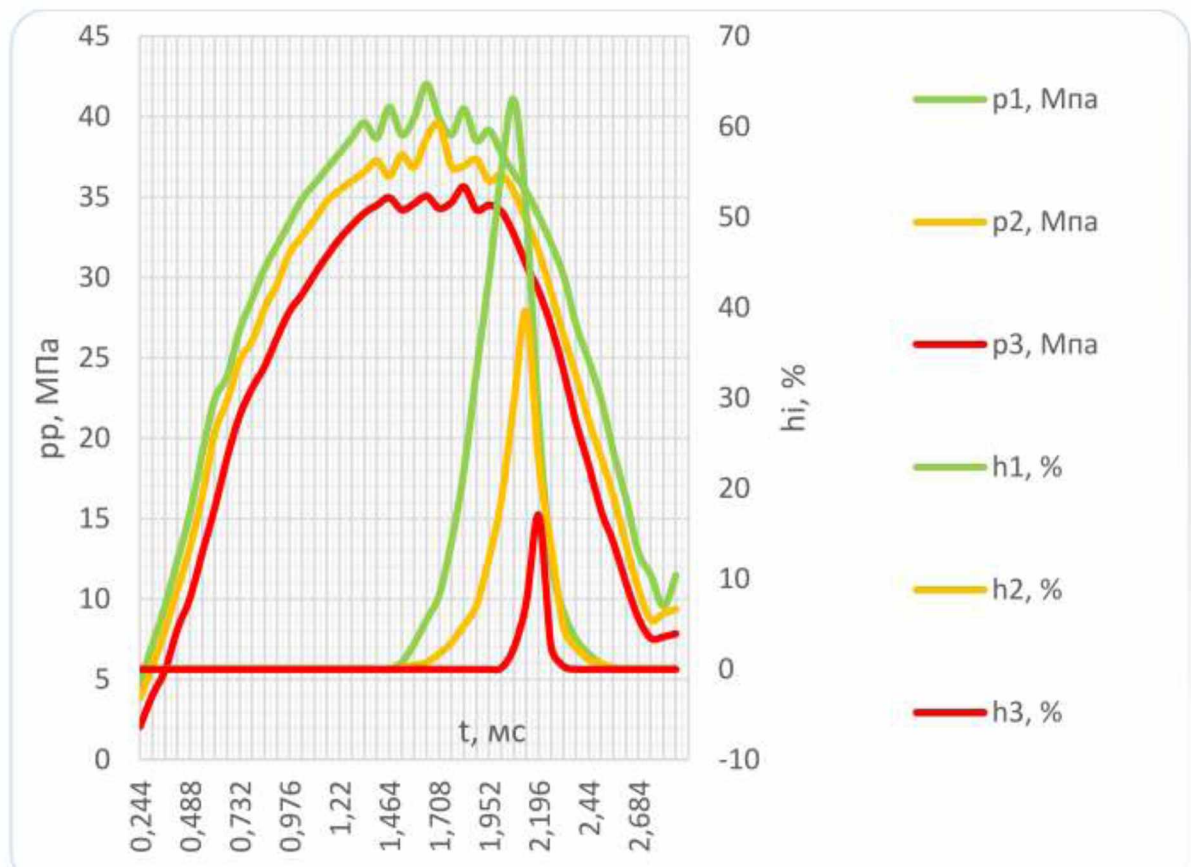
Результати вимірювання переміщення голки форсунки, тиску подачі палива від радіального зазору плунжер-втулка ПНВТ дизеля КАМАЗ-740.11-240, представлені в табл. 3.1, свідчать про необхідність виконувати операції діагностування ПА дизеля по переміщенню голки форсунки при його роботі на частоті обертання колінчастого вала 600 хв^{-1} .

Таблиця 3.1 – Переміщення голки форсунки, тиск подачі палива і радіального зазору плунжер-втулка ПНВТ дизеля КАМАЗ-740.11-240

№ вимірювання	Значення				
	Радіальний зазор «плунжер-втулка» (ΔS), мкм		Режим роботи дизеля (n), хв^{-1}	Максимальне переміщення голки форсунки (h_i), %	Максимальне значення тиску подачі палива (p_p), МПа
1	4	max	600	63,07	42,6
2		min	600	63	42
3		max	1300	100	60,5
4		min	1300	100	59,4
7	7	max	600	39,61	39,9
8		min	600	39,5	39,4
9		max	1300	100	57,1
10		min	1300	100	56,3
13	10	max	600	17,07	35,9
14		min	600	17	35,5
15		max	1300	100	51,7
16		min	1300	100	51

Дані дослідження, представлені на рис. 3.3, показують, що при роботі дизеля на обертах $n = 600 \text{ хв}^{-1}$, збільшення радіального зазору плунжер-втулка ПНВТ дизеля ΔS до 10 мкм призводить до зниження максимального значення тиску подачі палива на 6,52 МПа (15,5%) і зменшення максимального переміщення голки форсунки на 43%, що свідчить про високу інформативність даного параметра. Також при збільшенні радіального зазору

плунжер-втулка ПНВТ призводить до зниження швидкості переміщення голки форсунки і запізнювання її повного відкриття на 0,122 мс.



p1, h1 – відповідно залежність зміни тиску подачі палива плунжерною парою ПНВТ по часу при величині радіального зазору плунжер-втулка $\Delta S = 4$ мкм;

p2, h2 – відповідно залежність зміни тиску подачі палива плунжерною парою ПНВТ по часу при величині радіального зазору плунжер-втулка $\Delta S = 7$ мкм;

p3, h3 – відповідно залежність зміни тиску подачі палива плунжерною парою ПНВТ по часу при величині радіального зазору плунжер-втулка $\Delta S = 10$ мкм.

Рисунок 3.3 – Залежність переміщення голки форсунки, тиску подачі палива плунжерною парою по часу від величини радіального зазору плунжер-втулка ПНВТ дизеля КАМАЗ-740.11-240

На графіку зміни тиску подачі палива спостерігаються високочастотні гармонійні коливання, що відбуваються з причини дроселювання палива через отвори розпилювача форсунки під час переміщення голки форсунки амплітуда і період, яких змінюються незначно при величині зазору плунжер-втулка, що не перевищує 7-8 мкм. Однак при збільшенні зазору до 10 мкм коливання тиску значно знижуються за даними показниками відображаючи різке зниження рухливості голки форсунки, що і спостерігається на рисунку. Також переміщення голки форсунки безпосередньо відображає тривалість уприскування палива, чим довше голка переміщалася – тим більше палива подалося в циліндр. Видно, що збільшення радіального зазору плунжер-втулка плунжерної пари ПНВТ призводить до істотного зниження циклової подачі палива, що в свою чергу викликає нерівномірність роботи циліндрів двигуна, збільшення динамічних навантажень на деталі КШМ і т.д.

Відхилення основних регулювань ПА від нормативних значень впливає на знос її вузлів і надійність автотракторного двигуна в цілому. Параметр потоку відмов автотракторних дизелів сімейства КАМАЗ-740 з порушеними регулюваннями ПА, в порівнянні з дизелями, в яких паливоподача відбувається нормально, вище в 1,8 рази, середнє напрацювання на відмову нижче в 1,7 рази, середня кількість відмов більша в 1,5 рази, а час пошуку несправності, відновлення і простою в 1,4 рази.

Для діагностування ПА дизельних двигунів з розділеною системою впорскування випускається значна кількість обладнання. Однак, номенклатура обладнання, що випускається в нашій країні для діагностування даної ПА автотракторних дизелів, має недостатньо широкий спектр. Реалізація ефективних розробок науково-дослідних та конструкторських організацій не знайшла поки широкого застосування в готових приладах на ринку, часто обмежуючись виготовленням одиничного екземпляра або випуском дрібної серії пристроїв. Ці обставини не дозволяють підібрати в даний час єдиного комплекту приладів і обладнання, який дозволяв би оцінити технічний стан дизельного двигуна.

Проводилось дослідження зміни переміщення голки форсунки дизеля (діагностичний параметр) в залежності від зміни тиску палива в ЛВТ і збільшення радіального зазору плунжер-втулка плунжерній пари ПНВТ (структурний параметр), результати наведені в табл. 3.2. і на рис. 3.4.

Таблиця 3.2 – Зв'язок діагностичного параметра – переміщення голки форсунки h_i (%), тиску подачі палива плунжерною парою ПНВТ p_p , (МПа) і середнього діаметрального зазору плунжер-втулка плунжерної пари ПНВТ (ΔS , мкм).

h_i , %	63	51	39,5	17
ΔS	4	6	7	10
p_p , МПа	42,02	40,98	39,537	35,622

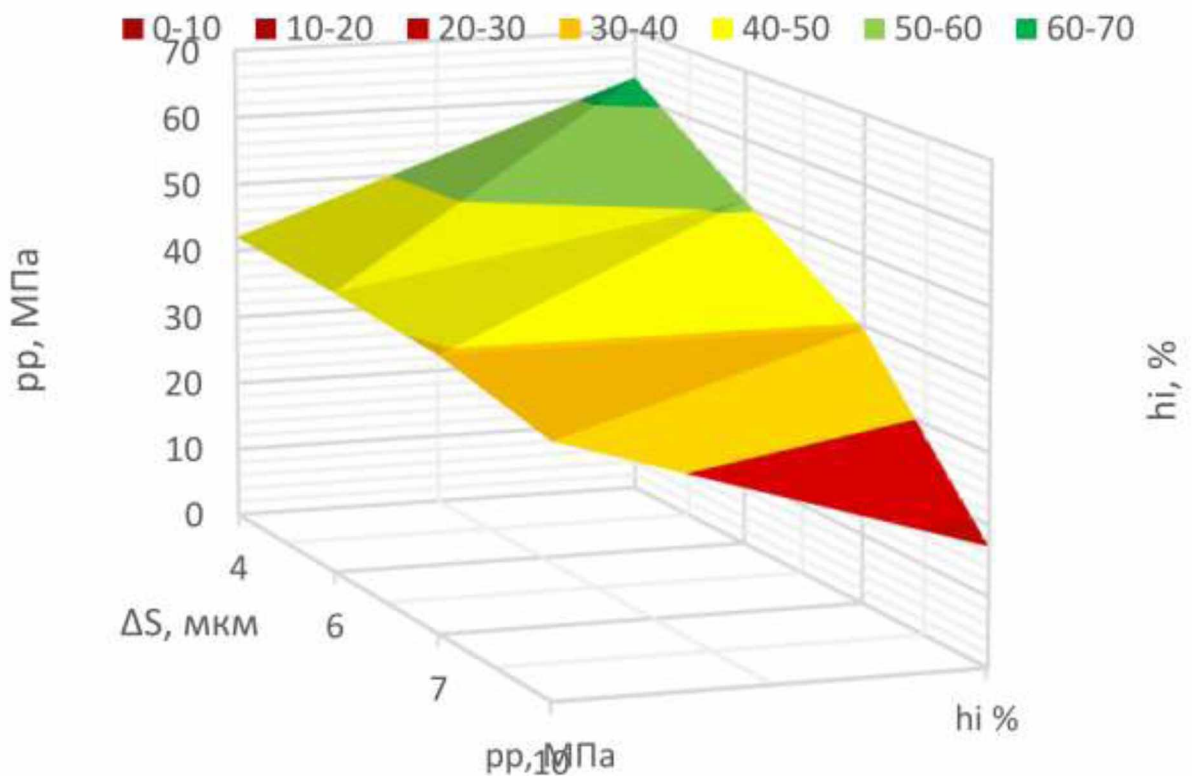
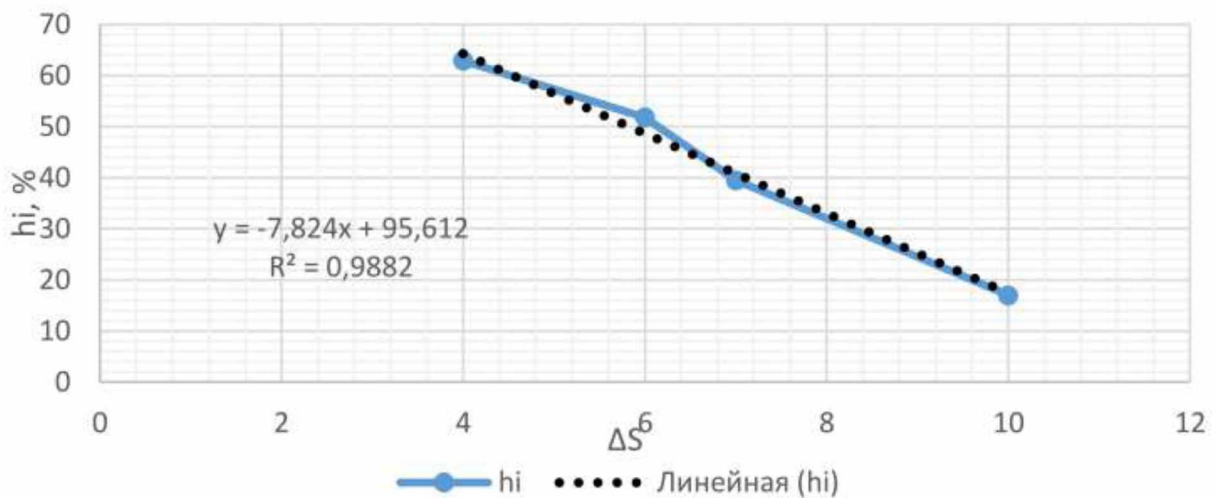


Рисунок 3.4 – Залежність максимальних значень переміщення голки форсунки (h_i) і тисків подачі палива (p_p) від величини радіального зазору плунжер-втулка ПНВТ (ΔS)

Порушення працездатності ТА дизеля на мінімальних сталих оборотах холостого ходу настає при переміщенні голки форсунки 32%, що відповідає максимальному тиску уприскування на даному режимі 38,1 МПа і максимальному радіальному зазору плунжер-втулка ПНВТ 8 мкм. За основу прийнято граничний тиск подачі палива плунжерній парою ПНВТ і збільшення середнього радіального зазору-плунжер-втулка.

Для аналізу зв'язку діагностичного показника (переміщення голки форсунки) і структурного (радіальний зазор плунжерної пари ПНВТ) проводилися експлуатаційні та лабораторні дослідження. На основі вимірів отримані величини параметрів лінійної залежності діагностичного параметра зі структурним (рис. 3.5), які характеризуються високим коефіцієнтом кореляції (0,9) аналітичних і експериментальних досліджень.



h_i – експериментальні дані, лінійна [h_i] – результати лінійної регресійної моделі

Рисунок 3.5 – Залежність діагностичного параметра h_i від структурного ΔS

Переміщення голки форсунки вимірюється непрямим методом, шляхом вимірювання напруги на опорі фотодіода. Напруга змінюється пропорційно переміщенню голки. Для зручності проведення замірів переміщення представлено у відсотках, 100% – відповідає максимальному ходу 0,25 мм переміщення голки «з посадкою на упор».

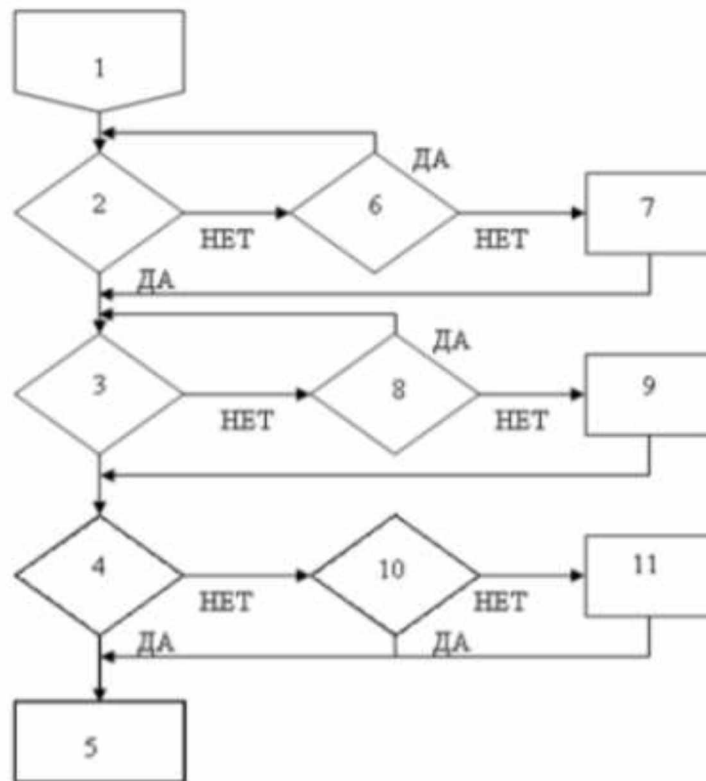
3.3 Удосконалення алгоритму і технологічного процесу діагностування паливної апаратури дизеля сімейства КАМАЗ-740

Основною метою технологічного процесу діагностування ПА автотракторних дизелів є контроль і відновлення її працездатності шляхом виявлення відхилень в її основних елементах і проведення поточних ремонтів або регулювальних робіт [14, 27].

На основі технологічного процесу складений алгоритм діагностування ПА автотракторного дизеля (рис. 3.6), де номери позицій відповідають номерам операції технології діагностування. Вертикальна гілка цього алгоритму є системою послідовного пошуку основного алгоритму. Можливі два результати: позитивний («Так»), за умови відповідності діагностичного параметра встановленим нормативам, і негативний («Ні»), при невідповідності. При позитивних умовах, проводять черговий крок до наступної операції, при негативному – виявляють несправності, які усуваються регулювальними або ремонтними роботами.

Після виконання підготовчих операцій, прогріву двигуна проводять вимірювання. Середню витрату палива визначають до проведення діагностування в експлуатації, стежачи за кількістю палива, що заправляється і напрацюванням сільськогосподарської техніки (пробіг для автомобілів).

Операція 2 може виконуватися розробленим пристроєм. В цьому випадку пристрій встановлюється по черзі в 1 і 8 циліндри двигуна, що відповідає 8 і 1 секціям ПНВТ як найбільш і найменш навантажених відповідно. Визначається зміна тиску впорскування палива, знос плунжерної пари, втрата герметичності клапана [27]. Також, перевіряється циклова подача палива плунжерною парою через еталонну форсунку, при необхідності виконують регулювання.



1 – зовнішній огляд, прослуховування; 2 – переміщення голки форсунки; 3 – вимірювання кута випередження впорскування палива; 4 – вимірювання димності вихлопних газів; 5 – направлення в експлуатацію; 6 – перевірка стану трубопроводу та фільтрів; 7 – поточний ремонт / заміна плунжерної пари ПНВТ; 8 – регулювання кута випередження впорскування палива; 9 – регулювання / заміна муфти випередження впорскування; 10 – перевірка роботи форсунки; 11 – поточний ремонт форсунки.

Рисунок 3.6 – Алгоритм діагностування ПА дизеля із застосуванням розробленого і відомих пристроїв діагностування

Звіряють діагностичні параметри 1 і 8 циліндрів між собою і з еталоном. У першому випадку визначають різницю показників секцій ПНВТ для визначення нерівномірності подачі палива, а різниця з еталоном визначає загальне відхилення від норми, при необхідності додатково перевіряють 5 циліндр. При відхиленні показника більш ніж на 15% потрібне проведення операції 7 – поточний ремонт та регулювання ПНВТ з заміною плунжерних пар.

Якщо ж різниця показників з еталонними не перевищує 5% в ході проведення профілактичних робіт або без них, виконують операцію 4 – діагностику димності вихлопних газів. Нормальним вважається рівень димності не більше 50 одиниць [27], якщо він вищий, то необхідно виконання операції 10 і 11.

Діагностування ПА автотракторного дизеля по переміщенню голки форсунки з певною періодичністю дозволить отримати інформацію про технічний стан об'єкта та, при необхідності, прийняти рішення про підтримку працездатності проведенням технічних впливів. Пропонований технологічний процес передбачає попереднє діагностування за стандартними параметрами технічного стану ПА відповідно до розробленого алгоритму. На цьому процес діагностування закінчується, результати діагностування фіксуються в діагностичній карті. Розроблений алгоритм діагностування перевірений в умовах експлуатації на групі з 49 об'єктів. При цьому встановлено, що 16% дизелів мали порушений кут випередження впорскування палива, 15% порушення роботи форсунок, 25% порушення регулювань циклової подачі палива плунжерною парою і стільки ж знос плунжерних пар або порушення ущільнень.

Висновки

1. Отримано залежність переміщення голки форсунки від значущих чинників – тиску подачі палива і зносу плунжерної пари ПНВТ дизеля, що доводить доцільність використання запропонованого діагностичного пристрою.

2. Експериментально обгрунтовано режим роботи автотракторного дизеля КАМАЗ-740.11-240, при якому рекомендується діагностувати ПА (частота обертання колінчастого вала, що відповідає режиму холостого ходу ($n = 600 \text{ хв}^{-1}$)).

3. Проведено розрахунок точності вимірювання переміщення голки форсунки діагностичного пристрою, максимальна похибка якого не перевищує 0,11%.

4. Експериментально обґрунтована залежність переміщення плунжера по куту повороту кулачкового вала ПНВТ дизеля КАМАЗ-740.11-240, що надійшов в поточний ремонт ПНВТ, використана для уточнення параметрів математичної моделі подачі палива, яка показала високу адекватність моделі.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1. Екологічна експертиза розробок

Екологічна паспортизація ремонтно-обслуговуючих підприємств є одним з ефективних перспективних засобів охорони навколишнього природного середовища. Екологічний паспорт підприємства належить до його основної проектно-технічної документації. Поряд з технологічним регламентом він повинний бути на кожному підприємстві. У цьому документі наведені дані, що характеризують взаємовідносини підприємства з довкіллям.

У першій частині паспорта наводяться загальні відомості про виробництво: назва підприємства та продукції, що виробляється, район розташування, його потужність, займана площа, кількість працюючих та основні витратні величини споживаної сировини, води, енергії, палива, пари, повітря тощо, а також відомості про споживану сировину, джерела водо- і теплопостачання, короткий опис технологічних схем виробництва основної продукції, технології очищення газо- димових викидів в атмосферне повітря та стічних вод, оборотність, зберігання, транспортування та вилучення твердих відходів (назва, кількість, хімічний склад та деякі основні властивості, технологія відновлення або виготовлення), утримання приміщень і споруд, плани дій в аварійних умовах, небезпечні матеріали, відомості про кращі альтернативні технології, що застосовуються на інших підприємствах країни чи світової практики і завдають меншої шкоди довкіллю.

Характеризується також санітарно-захисна зона підприємства (площа зони, прилеглі об'єкти, її оформлення).

У другій частині паспорта відображені заплановані природоохоронні заходи із зазначенням конкретних термінів, виконавців, обсягів і витрат,

питомих і загальних газо- димових викидів в атмосферне повітря і скидів стічних вод та відходів виробництва до і після впровадження кожного заходу.

Екологічні паспорти дають змогу зробити аналіз екологічного середовища в регіоні, порівняти техніко- і еколого-економічні дані з даними інших підприємств, що характеризуються природоохоронними заходами.

Одночасно можна оцінити й ефективність застосованої технології, повноту використання матеріалів й палива, ефективність технології очищення стічних вод і газодимових викидів.

Можна також зробити еколого-економічну оцінку збитків взагалі і завданих природі зокрема, ефективність використання палива та енергії.

Оскільки об'єкти підприємства є джерелами забруднення атмосфери і навколишнього середовища, то проводять аналіз забезпеченості технічними засобами контролю за станом навколишнього середовища, викидами забруднюючих речовин в атмосферу і дають оцінку виконання екологічних заходів, приводять дані про використання і охорону земельних і водних ресурсів, описують методи контролю за шкідливими викидами, заходи щодо їх зменшення.

Проведений аналіз дозволяє розробити рекомендації по забезпеченню екологічної стійкості підприємства, а також план ліквідації аварійних ситуацій і витоків нафтопродуктів, в який включають об'єкти і території, що підлягають особливому захисту від забруднень (водозабори, житлові масиви, зони відпочинку).

Повинна бути встановлена (обґрунтована) категорія екологічної небезпеки об'єкту. Для цього встановлюють структуру викидів і скидань забруднюючих речовин при експлуатації технологічного устаткування. На підставі екологічного аналізу джерел викидів роблять розрахунок «пріоритетного» викиду шкідливих речовин.

Залежно від категорії небезпеки вводиться періодичність звітності в системі держобліку викидів забруднюючих речовин в атмосферу.

Найбільша ефективність в захисті повітряного середовища від забруднюючих викидів досягається при поєднанні заходів щодо вдосконалення технологічних процесів, газоочистки, забезпечення загальних санітарно-гігієнічних вимог і правильних об'ємно-планувальних рішень.

Екологічні порушення (злочини) караються відповідно до вимог Кримінального кодексу України. Вимоги закону передбачають встановлення чіткого причинного зв'язку між зробленим порушенням і погіршенням навколишнього середовища.

До екологічних злочинів відносять: забруднення навколишнього природного середовища (води, повітря, ґрунту); порушення правил обороту небезпечних матеріалів і відходів.

Забруднення, виснаження поверхневих чи підземних вод, джерел питної води або зміна її природних властивостей можуть завдати шкоди сільському господарству. Оцінка завданого збитку здійснюється з урахуванням реальної вартості затрат на відновлювальні роботи та ліквідацію наслідків.

Порушення правил викиду забруднювальних речовин в атмосферу, експлуатації очисних споруд чи інших об'єктів спричиняють забруднення або зміну природних властивостей повітря, що може завдати істотної шкоди здоров'ю людини.

Шкідливий плив на ґрунти чинить забруднення їх відходами господарської діяльності, що може бути небезпечним для здоров'я людей, забруднювати сільськогосподарську продукцію і водойми.

Порушення правил охорони навколишнього середовища полягає у використанні непередбачених правилами методик, відмови від виконання відповідних робіт або в бездіяльності при необхідних обов'язках. Це може бути, зокрема, ігнорування інформації, відмова від проведення екологічної експертизи та будівництва очисних споруд, порушення правил будівництва, експлуатації і ліквідації побудованих споруд тощо.

За скоєні екологічні злочини порушники несуть правову відповідальність. Екологічне законодавство передбачає три рівні покарання: порушення; порушення, що завдали значних збитків; порушення, що спричинили смерть людей (тяжкі наслідки).

Залежно від величини заподіяних збитків це можуть бути штрафи, заборона обіймати певні посади на встановлений термін, виправні роботи та позбавлення волі на визначений законом термін.

Система екологічного менеджменту в країні визначається і регламентується Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища». Згідно з цим законом, метою державного управління в галузі охорони довкілля є реалізація законодавства, контроль за дотриманням вимог екологічної безпеки, забезпечення проведення ефективних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища. Отже, державний екологічний менеджмент включає чотири основні функції:

- здійснення природоохоронного законодавства;
- контроль за екологічною безпекою;
- забезпечення проведення природоохоронних заходів;
- досягнення узгодженості дій державних і громадських органів.

Ринково орієнтована економіка охоплює такі групи функцій екологічного менеджменту: реструктуризація виробництва, приватизація, створення конкурентного середовища і ринкового ціноутворення.

На рівні підприємства до загальних функцій управління належить:

- формування екологічної політики;
- визначення екологічних цілей та завдань відповідно до екологічної політики;
- розроблення стратегічного плану реалізації екологічної політики;
- розроблення та реалізація програми екологічного управління;
- формування екологічної свідомості та мотивування;
- ведення документації екологічного менеджменту;
- оперативне управління, аналіз та вдосконалення.

Виконання системоутворювальних функцій екологічної політики, визначення екологічних цілей і завдань, розроблення та реалізація екологічної програми здійснюється за допомогою екологічної експертизи. Екологічна експертиза – це науково-практична діяльність спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, дія яких впливає або може негативно впливати на стан довкілля та здоров'я людей.

Основними завданнями екологічної експертизи є визначення ступеня екологічного ризику й безпеки суб'єкта господарської діяльності; встановлення відповідності вимогам екологічного законодавства; оцінка впливу різних об'єктів на довкілля, здоров'я людей та можливих негативних екологічних наслідків.

Основними принципами екологічної експертизи є:

- гарантування безпечного життя довкілля;
- наукова обґрунтованість життя довкілля;
- державне регулювання та законність.

Державну екологічну експертизу об'єктів загальнодержавного і міжобласного значення проводить управління екологічної системи Мінекоресурсів України, об'єктів місцевого значення – відділи екологічної експертизи обласних управлінь екологічної безпеки.

Законом «Про екологічну експертизу», прийнятим Верховною Радою України у 1995 р., передбачено державне регулювання і управління в галузі екологічної експертизи, статус експерта, обов'язки замовників експертизи, порядок проведення експертизи, її фінансування, відповідальність за порушення та міжнародне співробітництво.

Висновки громадської експертизи направляють в органи, що здійснюють державну екологічну експертизу, центральні й місцеві влади, замовникам проекту.

4.2. Охорона праці та безпека з надзвичайної ситуації

Охорона праці включає техніку безпеки, що запобігає травматизму, і виробничій санітарії, перешкоджає виникненню захворювань із-за дії шкідливих чинників. Впровадження раціонального комплексу заходів, направлених на поліпшення умов праці, може забезпечити приріст її продуктивності на 15...20%. Структура комплексу заходів наступна.

1. Аналіз стану охорони праці або безпеки технологічного процесу на підприємстві.

2. Розробка організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних заходів щодо поліпшення стану охорони праці.

3. Розробка вимог (інструкцій) з охорони праці при роботі на технологічному (модернізованому) обладнанні або при використанні запропонованого пристосування.

4. Аналіз і оцінка пожежної безпеки підприємства, організація пожежної профілактики (визначення категорії виробництва по пожежній небезпеці, ступені вогнестійкості будівельних конструкцій, обґрунтування первинних засобів і витрати води для гасіння пожежі).

Аналіз стану охорони праці. Його проводять так, щоб можна було визначити передумови для розробки заходів щодо зниження травматизму і поліпшення умов праці.

При аналізі стану охорони праці при організації і технології ремонтно-обслуговуючих робіт враховують наступне:

- дотримання законодавства про режим праці і відпочинку працюючих;
- відповідність організації забезпечення охорони праці вимогам нормативних документів;

- планування заходів щодо охорони праці, виділення і використання грошових і матеріальних коштів на їх виконання;
- відповідність будівлі ремонтно-обслуговуючого підприємства (приміщення виробничої ділянки) вимогам санітарних і будівельних норм і правил;
- можливість появи шкідливих і небезпечних виробничих чинників, основні причини виробничих травм;
- дотримання вимог безпеки при використанні обладнання, вантажопідійомних машин і судин, що працюють під тиском;
- динаміку травматизму і захворюваності;
- санітарно-побутові умови працівників;
- пожежну безпеку (характеристика технологічних процесів пожежній небезпеці, наявність і готовність первинних і технічних засобів пожежогашіння, дотримання вимог пожежної безпеки, наявність і стан грозозахисних пристроїв і т. п.).

Розробка заходів щодо поліпшення стану охорони праці. Заходи щодо поліпшення стану охорони праці або безпеки технологічних процесів розробляють на основі аналізу. Вони повинні бути конкретними.

Заходами передбачають:

- поліпшення діяльності адміністрації (наймача) з дотримання трудового законодавства і виконання вимог нормативної документації з охорони праці;
- вдосконалення системи навчання працівників охорони праці відповідно до нормативних документів;
- поліпшення контролю і нагляду за дотриманням вимог охорони праці;
- застосування засобів наочної агітації з безпеки праці, поліпшення планування з охорони праці;

- заміну небезпечних технологічних процесів безпечними;
- розробку пристроїв, що забезпечують безпечну експлуатацію технологічного обладнання і систем, забезпечення електробезпеки;
- створення нормального повітряного середовища за рахунок вентиляції і опалювання;
- забезпечення гігієнічних вимог до природного і штучного освітлення;
- зниження рівнів шуму і вібрацій на робочих місцях;
- забезпечення пожежної безпеки;
- створення необхідних санітарно-побутових умов для працівників підприємства.

Для розробки вимог безпеки (інструкції) з охорони праці при експлуатації існуючого, проектного або модернізованого устаткування (приспосовування) необхідно спочатку охарактеризувати можливі небезпечні і шкідливі виробничі чинники, які можуть виникнути під час роботи, небезпечні зони, а потім описати методи їх ліквідації. Необхідно також обґрунтувати вимоги до персоналу, який експлуатуватиме обладнання.

Для забезпечення безпечної експлуатації і обслуговування проектного устаткування передбачають захисні засоби, блокуючі і гальмівні пристрої, засоби сигналізації, захист від враження електричним струмом і ін. Робоче місце оператора організують з урахуванням вимог ергономіки.

Крім того, при необхідності обґрунтовують санітарно-гігієнічні умови праці на проектованому обладнанні, передбачають заходи і засоби пожежної безпеки, розробляють інструкцію з техніки безпеки.

Визначення кількості шкідливих виділень у виробничих приміщеннях. Деякі технологічні процеси, що виконуються на ремонтно-обслуговуючих підприємствах, характеризуються виділенням різних забруднень. Тому при проектуванні підприємств в приміщеннях передбачають природну, механічну

або змішану вентиляцію. Вентиляційні системи повинні забезпечувати відносну вологість повітря, концентрацію в нім газів, шкідливих виділень в межах, що не перевищують допустимі норми. Якщо виділення забруднень відбувається на окремому технологічному обладнанні (на столі для зварювальних робіт, в наплавлювальній установці, гальванічній ванні і т.д.), влаштовують місцеву вентиляцію у вигляді парасольок, відкосів і т.п. При розсіяному виділенні забруднень в приміщенні передбачають загальнообмінну вентиляцію.

Розрахунок вентиляційних систем проводять виходячи з інтенсивності забруднення повітря. Кількість виділень, що забруднюють повітря в приміщенні, визначають по кожному джерелу. У виробничих приміщеннях до основних забруднень відносяться: відпрацьовані гази двигунів внутрішнього згорання; гази і аерозолі, що утворюються в процесі зварки, наплавлення, паяння; випаровування миючих розчинів, розчинників емалей і лаків, охолоджуючих рідин, електроліту та ін.

Кількість повітря, необхідну для розбавлення газових і аерозольних забруднень, тобто продуктивність вентиляційної установки, визначають за формулою:

$$W_v = 10^6 Q_c / (C_{p.z} - C_n) \quad (4.1)$$

де W_v – продуктивність вентиляційної установки, м³/год.;

Q_c – сумарна кількість забруднень, що виділяються, кг/год.;

$C_{p.z}$ – гранично допустима концентрація даного забруднення в робочій зоні, мг/м³;

C_n – концентрація даної забруднення у повітрі, що поступає, мг/м³.

У випадках, коли зовнішнє повітря, що поступає в приміщення, не містить шкідливих домішок, величину C_n приймають рівною нулю.

У приміщеннях ділянок діагностики і технічного обслуговування, ремонтно-монтажної кількості шкідливих виділень від працюючого дизельного двигуна визначають за формулою:

$$Q_d = (160 + 13,5V_y) \frac{P}{100} \cdot \frac{T}{60}, \quad (4.2)$$

де Q_d – кількість шкідливих виділень від працюючого дизеля, кг/год.;

V_y – робочий об'єм циліндрів двигуна, л;

P – вміст забруднень у відпрацьованих газах %;

T – час роботи двигуна, хв.

При роботі карбюраторного двигуна:

$$Q_k = 15(0,6 + 0,8V_y) \frac{P}{100} \cdot \frac{T}{60}. \quad (4.3)$$

Кількість аерозолів свинцю при роботі карбюраторного двигуна на етильованому бензині буде рівна:

$$Q_c = \frac{0,05C(0,6 + 0,8V_y)}{100} \cdot \frac{T}{60}, \quad (4.4)$$

де C – вміст тетраетилсвинця в бензині, г/кг ($C = 0,05 \dots 0,10\%$).

Час роботи двигунів в приміщеннях приймають: при розігріванні – 2 хв.; при установці на пост (лінію) технічного обслуговування – 1,0...1,5 хв.; при рейсуванні і виїзді (в'їзді) – 0,2...0,5 хв.; на кожних 10 м шляху при переміщенні з поста на пост своїм ходом – 1,0...1,5 хв.; при регулюванні двигуна – 10...15 хв.

Вміст забруднень у відпрацьованих газах (P) наведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Вміст забруднень відпрацьованих газах, % до маси

Умови роботи двигуна	Дизельні двигуни			Карбюраторні двигуни	
	Оксид вуглецю	Оксид азоту	Альдегіди	Оксид вуглецю	Аерозолі свинцю
Розігрів у приміщенні	0,071	0,007	0,510	6,0	0,0025
Рейсування в приміщенні	0,054	0,009	0,037	4,0	0,0018
В'їзд до приміщення і місця розташування	0,035	0,005	0,022	2,0	0,0010

На ділянці зварювання роботи супроводжуються виділенням зварювальних аерозолів і шкідливих газоподібних речовин (фтористого водню, оксидів азоту, оксиду вуглецю і ін.). При визначенні кількості забруднень, що виділяються, під час зварки (різки) враховують питомі показники їх викидів (таблиці 4.2 і 4.3).

Кількість шкідливих виділень при зварці визначають за формулою

$$Q_a = 10^{-3} G_e q_a \quad (4.5)$$

де Q_a – кількість зварювального аерозолу, кг/год.;

G_e – максимальна витрата електродів, кг/год.;

q_a – питоме виділення аерозолу, г/кг.

Аналогічно визначають кількість шкідливих газів, що виділяються при зварюванні.

Таблиця 4.2 – Питомі виділення шкідливих речовин при зварці (наплавленню) металів (г на 1 кг електродів)

Марка електроду	Тверді частинки				Шкідливі гази		
	Зварювальні аерозолі	Зокрема			Фтористий водень	Оксиди азоту	Оксид вуглецю
		оксиди марганцю	оксиди хрому	фториди			
УОНІ-13/45	14,0	0,51	-	1,40	1,00	-	-
УОНІ-13/55	18,6	0,97	-	2,60	0,93	-	-
ЕА-60В/11	11,0	0,68	0,60	-	0,004	1,30	1,40
АНО-3	17,8	1,85	-	-	-	-	-
АНО-5	14,0	1,87	-	-	-	-	-
АНО-9	16,0	0,90	-	1,13	0,47	-	-
ОМА-2	9,2	0,83	-	-	-	-	-
ЦЧ-4	13,8	0,43	-	-	1,87	-	-
ОЗЧ-1	14,7	0,47	-	-	1,65	-	-
ОЗЧ-3	14,0	0,49	0,18	-	1,97	-	-
МНЧ-2	20,4	0,92	-	-	1,34	-	-
Т-590	45,5	-	3,70	-	-	-	-

При зарядці акумуляторних батарей максимальна кількість забруднюючих речовин виділяються в кінці зарядки. Для розрахунку викидів сірчаної кислоти на ділянці зарядки акумуляторних батарей в майстерні використовують значення питомого виділення аерозолю кислоти, яке приймають рівним 1 мг/А·год.

Таблиця 4.3 – Виділення шкідливих речовин при газовому різанні металу

Матеріал	Товщина, мм	Зварювальний аерозоль				Гази			
		г/1 м різки	г/год.	зокрема		Оксид вуглецю		Оксид азоту	
				оксид марганцю, г/год.	оксид хрому, г/год.	г/1 м різки	г/год	г/1 м різки	г/год
Сталь вуглецева	5	2,25	74,0	2,31	-	1,50	49,5	1,18	39,0
	10	4,50	131,0	3,79	-	2,18	63,4	2,20	64,1
	20	9,0	200,0	6,00	-	2,93	65,0	2,40	53,2
Сталь легована	5	2,50	82,5	-	3,96	1,30	42,9	1,02	33,6
	10	5,00	145,0	-	6,68	1,90	55,9	1,49	43,4
	20	10,00	222,0	-	10,35	2,60	57,2	2,02	40,9

Викид сірчаної кислоти підраховують за формулою

$$Q_k = q_k (C_1 a_1 + C_2 a_2 + \dots + C_n a_n), \quad (4.6)$$

де Q_k – кількість сірчаної кислоти, що виділяється, мг;

q_k – питома виділення сірчаної кислоти, мг/кг;

$C_{1..n}$ – номінальні ємкості батарей, що одночасно заряджають, А·год.;

$a_{1..n}$ – кількість батарей відповідної ємкості.

На мідницькій ділянці при ремонті радіаторів, баків використовують м'які припої, що містять, свинець і олово. Розрахунок викидів шкідливих речовин проводять окремо по свинцю і олову.

Розрахунок викидів забруднюючих речовин на ділянках вулканізації, перевірки і регулювання паливної апаратури проводиться також по питомих виділеннях забруднень (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Склад емалей і ґрунтовок %

Розчинник	Емаль						Ґрунтовка		
	МЛ-152	МЛ-197	НЦ-11	ПФ-115	МС-17	НЦ-25	МЛ-029	ГФ-017	ФЛ-03К
Ацетон	-	-	-	-	-	4,62	-	-	-
Бутілацетат	-	-	13,75	-	-	6,60	-	-	-
Бутиловий спирт	12,9	21,89	5,50	-	-	9,9	26,0	-	-
Ксилол	24,6	38,67	-	22,5	60,0	-	32,8	50,0	15,0
Уайт спірит	8,06	0,04	-	22,5	-	-	-	-	-
Толуол	-	-	13,75	-	-	29,7	2,2	-	15,0
Етиловий спирт	-	-	8,25	-	-	9,9	-	-	-
Етилацетат	-	-	13,75	-	-	-	-	-	-
Сольвент	8,72	-	-	-	-	-	-	-	-
Етілцеллозольв	-	-	-	-	-	5,28	-	-	-
Ізобутиловий спирт	5,58	-	-	-	-	5,28	-	-	-
Бензин	1,69	-	-	-	-	-	-	-	-
Летюча частина	62	61	55	45	60	66	61	50	30
Сухий залишок	38	39	45	55	40	34	39	50	70

При митті деталей і агрегатів застосовують синтетичні миючі засоби (СМЗ) на основі кальцинованої соди (лабомид-101, лабомид-102, МС-6 та ін.), розчин каустичної соди, гас і т. д. Викид забруднюючої речовини при митті визначають за формулою:

$$Q_3 = 3600q_3 F, \quad (4.7)$$

де Q_3 – кількість забруднень, що виділяються, г/год.;

q_3 – питомі виділення (викид) забруднюючих речовин при митті, г/(с·м²);

F – площа дзеркала ванни, м².

При проектуванні ділянки фарбування ремонтваних об'єктів розрахунок виділення забруднюючих речовин слід вести роздільно для пігменту фарби і для розчинника. Кількість твердих забруднюючих частинок, що виділяються, розраховують за формулою:

$$Q_m = m_k f_c \sigma_n \cdot 10^{-4}, \quad (4.8)$$

де Q_m – кількість твердих частинок, що утворюються, кг/год.;

m_k – кількість використаної емалі (фарби), кг/год.;

f_c – кількість фарби

Таблиця 4.5 – Виділення забруднюючих речовин при фарбуванні і сушці %

Спосіб нанесення фарби (емалі)	Виділення шкідливих компонентів		
	Втрата фарби у вигляді аерозолі	Виділення розчинника	
		при забарвленні	при сушці
Розпилювання:			
пневматичне	30	25	75
безповітряне	2,5	23	77
пневмоелектростатичне	3,5	20	80
електростатичне	0,3	50	50
Вручну пензлем або валиком	-	50	50

Викид пари розчинників, якщо фарбування і сушка проводяться в одному приміщенні, розраховують за формулою:

$$Q_{p_i} = (m_k f_u f_{l_i}) \cdot 10^{-4} \quad (4.9)$$

де Q_{p_i} – кількість пари i -го речовини, що виділяється, яка входить до складу розчинника емалі, , кг/год.;

f_u – частка фарби, що випаровується (летюча) %;

f_{l_i} – кількість летючої i -го забруднюючої речовини у фарбі %.

4.3. Техніко-економічне обґрунтування ефективності удосконалення діагностування систем живлення

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження залежності переміщення голки форсунки від стану елементів ПА автотракторного дизеля дозволяють значно скоротити витрати на забезпечення його працездатності за рахунок зниження часу його експлуатації на граничних режимах і числа відмов вузлів ПА, особливо раптових [32]. При цьому економічний ефект з'являється в сфері експлуатації за рахунок зниження витрат на діагностування і простоїв в ремонті, а, отже, підвищення продуктивності сільськогосподарської техніки.

Річний економічний ефект від впровадження діагностичного приладу визначали за формулою:

$$E = [(c_1 + E_n k_1) - (c_2 + E_n k_2)] B_r, \quad (4.10)$$

де c_1 і c_2 – собівартість запропонованої та існуючої системи діагностування;

$E_n = 0,15$ – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень [30];

B_r – річний обсяг роботи діагностичного приладу, шт.

Затрати C_y на виготовлення діагностичного приладу знаходимо за такою формулою:

$$C_y = C_k + C_{od} + C_{nd} + C_{cb} + C_{zv}, \quad (4.11)$$

де C_k – вартість виготовлення корпусних деталей, грн.;

C_{od} – витрати на виготовлення оригінальних деталей, грн.;

C_{nd} – ціна великих покупних деталей і вузлів, грн.;

$C_{сб}$ – заробітна плата виробничих робітників, зайнятих на складанні конструкції, грн.;

$C_{он}$ – загальновиробничі накладні витрати на виготовлення конструкції, грн.

Розраховані за вказаною формулою (4.11) витрати склали 18600 грн.

Питомі капіталовкладення визначали по залежностях:

$$\kappa_1 = \frac{C_{O1}}{B_{Г1}}; \quad \kappa_2 = \frac{C_{O2}}{B_{Г2}}, \quad (4.12)$$

де C_{O1} і C_{O2} – вартість основних виробничих фондів за діючої технології виготовлення і розробленої технології діагностування;

$B_{Г1}$ і $B_{Г2}$ – річна програма використання діагностичного приладу.

Питомі капіталовкладення склали $\kappa_1 = 2,40$ грн.; $\kappa_2 = 1,75$ грн.

Собівартість визначали по наступній формулі:

$$C = C_{з.п.} + C_{м} + C_{р.ф.} + C_{н.р.} + C_{і.в.}, \quad (4.13)$$

де $C_{з.п.}$ – заробітна плата виробничих робітників, зайнятих в процесі діагностування, грн.;

$C_{м}$ – витрати на використанні матеріали, грн.;

$C_{р.ф.}$ – вартість ремонтного фонду з урахування витрат на придбання обладнання, грн.;

$C_{н.р.}$ – накладні витрати, грн.;

$C_{і.в.}$ – інші витрати, грн.

Собівартість діагностування в середньому на вересень 2020 року склала $C_1 = 760$ грн., а з використанням запропонованого приладу $C_2 = 350$ грн.

Очікуваний економічний ефект складе:

$$E = [(760 + 0,15 \cdot 2,40) - (350 + 0,15 \cdot 1,75)] \cdot 100 = 41000 \text{ грн.},$$

де 100 – річний обсяг.

Економічний ефект на одиницю продукції становить 410 грн.

Основні показники техніко-економічної ефективності удосконалення діагностування систем живлення дизельних двигунів наведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Показники техніко-економічної ефективності

Показники економічної ефективності	Значення показників	
	існуючий метод діагностування	запропонований метод діагностування
1. Річний обсяг, шт.	100	
2. Собівартість однієї операції, грн.	760	350
3. Питомі капітальні вкладення, грн.	2,40	1,75
4. Річний економічний ефект, грн.		41000
5. Економічний ефект на одиницю продукції, грн.		410

Висновки

Проведена екологічна експертиза свідчить, що запропонована технологія підвищення ресурсу складових паливної апаратури автотракторних дизельних двигунів на основі вдосконалення технології діагностування є безпечною для навколишнього середовища.

Виконано аналіз умов виникнення і розвитку травм і аварій, для їх усунення запропоновані наступні заходи: встановлення захисних щитків, блокуючих приладів, заземлення при роботі з металообробними верстатами, використання спецодягу для приготування технологічних розчинів, проведення регулярних інструктажів з техніки безпеки.

Економічний ефект від впровадження розробленої технології склав 41000 грн. при річному обсязі впровадження 100 деталей.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Теоретично обґрунтовано діагностування плунжерних пар ПНВТ автотракторного дизеля по переміщенню голки форсунки. Запропоновано математичну модель зміни тиску подачі палива від переміщення голки форсунки.

2. Отримано залежність переміщення голки форсунки від значущих чинників – тиску подачі палива і зносу плунжерної пари ПНВТ дизеля, що доводить доцільність використання запропонованого діагностичного пристрою.

3. Експериментально обґрунтований режим роботи автотракторного дизеля КАМАЗ-740.11-240, при якому рекомендується діагностувати ПА (частота обертання колінчастого вала, що відповідає режиму холостого ходу ($n = 600 \text{ хв}^{-1}$)).

4. Проведено розрахунок точності вимірювання переміщення голки форсунки діагностичного пристрою, максимальна похибка якого не перевищує 0,11%.

5. Експериментально обґрунтована залежність переміщення плунжера по куту повороту кулачкового вала ПНВТ дизеля КАМАЗ-740.11-240, що надійшов в поточний ремонт ПНВТ, використана для уточнення параметрів математичної моделі подачі палива, яка показала високу адекватність моделі.